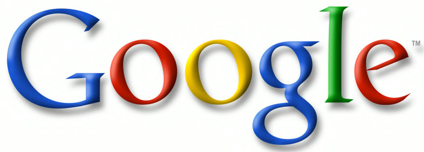
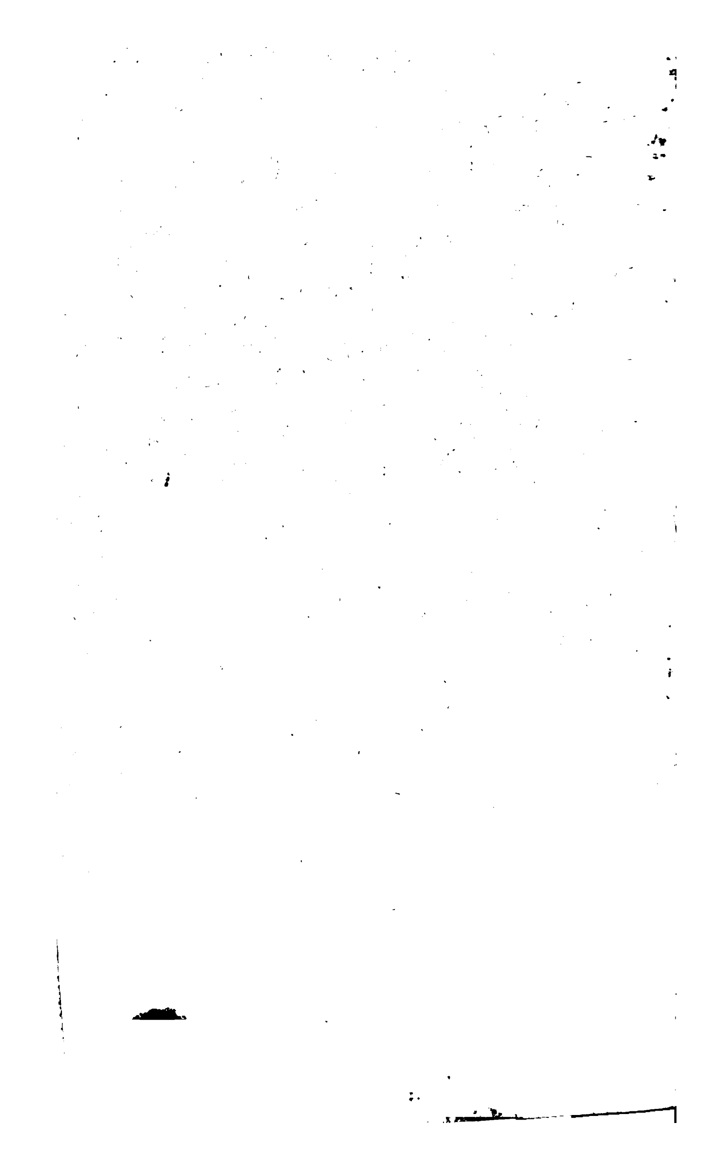


ENCYCLOPÉDIE-RORET

PONTS-ET-CHAUSSÉES

SECONDE PARTIE.

PONTS, AQUEDUCS, ETC.



ENCYCLOPÉDIE-RORET

PONTS-ET-CHAUSSÉES

SECONDE PARTIE.

PONTS, AQUEDUCS, ETC.

Manuel de l'Ingénieur civil, par MM. JULLIEN, LORENTZ et SCHMITZ, Ingénieurs civils, 2 gros vol. avec un Atlas renfermant beaucoup de planches. . . . . 10 fr. 50

— **Constructeur en général et Agents-Voyers**, ouvrage utile aux Ingénieurs des ponts-et-chaussées, aux Officiers du génie militaire, aux Architectes, aux Conducteurs des ponts-et-chaussées, par M. LAGARDE, Ingénieur civil. 1 vol. orné de figures. . . . . 3 fr.

— **Machines Locomotives** (Constructeur de), par M. JULLIEN, Ingénieur civil, etc. 1 gros vol. avec Atlas. . . 5 fr.

— **Machines à Vapeur** *appliquées à la Marine*, par M. JANVIER, Officier de marine et Ingénieur civil. 1 volume avec figures. . . . . 3 fr. 50

— **Machines à Vapeur** *appliquées à l'Industrie*, par M. JANVIER. 2 vol. avec figures. . . . . 7 fr.

— **Mécanique pratique**, à l'usage des directeurs et contre-maîtres, par BERNOUILLI, trad. par VALÉRIUS, un volume. . . . . 2 fr.

— **De l'Exploitation des Mines**, première partie, HOUILLE (ou Charbon de terre), par J.-F. BLANC. 1 vol. in-18, figures. . . . . 3 fr. 50

— *Idem*, deuxième partie, FER, PLOMB, CUIVRE, ÉTAIN, ARGENT, OR, ZINC, DIAMANT, etc. 1 volume in-18, avec figures. . . . . 3 fr. 50

— **Gaz** (Fabrication du) ou Traité de l'Éclairage, à l'usage des Ingénieurs, etc.; d'Usines à gaz, par M. MAGNIER. 1 vol. orné de figures. . . . . 3 fr. 50

— **Des Poids et Mesures**, Monnaies, Calcul décimal et Vérification, par M. TARBÉ, Conseiller à la Cour de Cassation; *approuvé par le Ministre du Commerce, l'Université, la Société d'Encouragement, etc.* 1 vol. . . . . . 3 fr.

MANUELS-RORET.

NOUVEAU MANUEL COMPLET DES

PONTS-ET-CHAUSSÉES

SECONDE PARTIE.

PONTS, AQUEDUCS, ETC.

Par J. DE GAYFFIER,
Ingénieur en chef des Ponts-et-Chaussées, Chevalier de la Légion-d'Honneur et de l'Ordre-Royal de la Conception de Portugal, Membre résidant de la Société centrale d'Agriculture, Sciences et Arts du département du Nord.

Ouvrage orné de Figures.

QUATRIÈME ÉDITION TRÈS-AUGMENTÉE.

PARIS
A LA LIBRAIRIE ENCYCLOPÉDIQUE DE RORET,
RUE HAUTEFEUILLE, 12.
1859.

AVIS.

Le mérite des ouvrages de **l'Encyclopédie-Roret** leur a valu les honneurs de la traduction, de l'imitation et de la contrefaçon. Pour distinguer ce volume, il porte la signature de l'Editeur, qui se réserve le droit de le faire traduire dans toutes les langues, et de poursuivre, en vertu des lois, décrets et traités internationaux, toutes contrefaçons et toutes traductions faites au mépris de ses droits.

Le dépôt légal de ce Manuel a été fait dans le cours du mois d'octobre 1858, et toutes les formalités prescrites par les traités ont été remplies dans les divers États avec lesquels la France a conclu des conventions littéraires.

Roret

NOUVEAU MANUEL COMPLET

DES

PONTS-ET-CHAUSSÉES

SECTION PREMIÈRE.

CHAPITRE PREMIER.

Des Matériaux.

1. Avant d'entrer dans les détails de construction des ponts, il est indispensable d'avoir quelques notions sur les matériaux qu'on y emploie ; de leur choix et de leur bon emploi dépend la durée de l'édifice à construire.

Pour les bien choisir, il faut connaître leurs parties constituantes et leurs qualités ; pour les employer convenablement, il faut connaître leur résistance aux efforts qui tendent à les détruire. La surface de la terre est composée de matériaux très-variés, mais les sciences ont ramené toutes les substances minérales connues à un petit nombre d'éléments, qu'on appelle corps simples, ou qu'on ne peut réduire en d'autres parties constituantes, du moins par les procédés chimiques découverts jusqu'à présent.

La surface et l'intérieur de l'écorce terrestre présentent un nombre limité de corps simples ; ceux qui forment la base des roches sont principalement : l'oxygène, le silicium, le calcium, le potassium, l'aluminium, le carbone, le fer, le soufre, etc. ; quelques-uns, qu'il est difficile d'obtenir isolés, ont pris le nom de leurs oxydes qui sont beaucoup plus connus ; tels sont le silicium, le calcium, le potassium et l'alu-

minium, qui, réunis à l'oxygène, donnent des oxydes sous le nom de silice, chaux, potasse, alumine.

Si l'on se représente les corps simples comme composés de l'agrégation des particules qui, arrivées à un certain degré de ténuité extrême, nè peuvent plus se diviser, on concevra qu'une ou plusieurs particules unitaires d'un corps simple, peuvent se combiner avec une ou plusieurs particules, aussi unitaires, d'un autre ou de plusieurs autres corps simples et donner naissance à des combinaisons *binaires*, *tertiaires*, etc. On comprend ainsi la composition de toutes les roches quelque composées qu'elles soient.

On appelle *roches* les substances minérales qui sont en masse assez considérable pour être regardées comme parties constituantes de l'édifice du globe; soit qu'elles ne présentent qu'un seul minéral comme la pierre calcaire, soit qu'elles en présentent plusieurs, comme le granite. Les autres substances minérales, qui ne se trouvent qu'en petite quantité, s'appellent minéraux accidentels, ils sont engagés dans les roches en *amas*, en *rognons*, en *veines*, etc., etc.

Les roches sont simples ou composées suivant qu'elles sont formées d'une seule ou de plusieurs substances minérales. Ces substances, dont nous avons déjà indiqué les principales bases, sont : les oxydes, le carbonate et le sulfure de fer, le carbone, la chaux carbonatée, la dolomie, la chaux sulfatée, le quartz, le felsdpath, le mica, la serpentine, la chlorite, l'argile, le pyroxène et l'amphibole. Les différents minéraux qui entrent dans la composition des roches sont diversement disposés les uns à l'égard des autres. Cette différence dans la disposition des minéraux composants donne lieu aux différences de *structure* des roches. Cette structure peut être simple, fragmentaire, granitique, schisteuse, porphyrique, amigdaloïde, double et irrégulière.

Bien que ces notions soient peut-être un peu trop du domaine de la minéralogie, nous croyons utile de bien préciser ce que l'on doit entendre par chacune des dénominations précédentes; il est souvent important de pouvoir distinguer les roches dont on doit se servir.

2. Les roches composées d'un seul minéral telles, que les calcaires, les gypses, les quartz, sont à *structure simple*, mais l'on peut distinguer leur *texture* en *compacte*, *grenue* et *schisteuse*. La texture est la disposition réciproque des parties de même nature.

3. Les roches composées de grains agglutinés par un ciment sont à structure fragmentaire, tels sont les grès, les

brèches et les poudingues. Dans les grès les grains sont fort petits, tantôt arrondis, tantôt anguleux, s'ils deviennent gros, comme une noisette, par exemple, le grès prend le nom de *brèche* ou de *poudingue* : brèche si les fragments sont anguleux, à bords aigus; poudingue s'ils sont arrondis.

4. Les roches composées de parties minérales agrégées les unes aux autres, sans ciment, sont à *structure granitique*, tel est le granite proprement dit, composé de grains de feldspath et de quartz avec des paillettes de mica.

5. Les roches composées comme les précédentes, mais dans lesquelles les minéraux composants sont plus étendus dans un sens que dans les autres et disposés de manière à former des feuillets distincts, sont à *structure schisteuse*. Tel est le schiste micacé consistant en petites plaques de quartz et en petits feuillets de mica, placés les uns sur les autres.

6. Les roches composées d'une pâte dans laquelle se trouvent engangués des minéraux isolés d'un petit volume, sont à texture *porphyrique* ou *amygdaloïde*. Ces minéraux isolés se rapprochent plus ou moins de la forme cristalline dans les premiers, tandis que dans les derniers ils affectent la forme de *noyaux*, *nœuds* ou *glandes*, arrondis à la surface.

7. Les roches qui présentent à la fois deux des structures que nous venons de décrire sont à *structure double*. Tel est le gneiss qui a la structure *granitique* et *schisteuse*. Les grains de feldspath et de quartz agrégés les uns aux autres présentent la structure granitique et ils sont disposés en petites plaques séparées par des feuillets de mica qui donnent la structure schisteuse.

8. Dans quelques granites on trouve de gros cristaux de feldspath différents des grains de cette même substance qui font partie de la masse, ils donnent un exemple de la structure *granitique* et *porphyrique*.

9. Les roches composées de substances minérales réunies et mélangées sans aucun ordre déterminé sont de *structure irrégulière*. Le vert antique qui est un mélange de calcaire et d'une serpentine à pâte très-fine en offre un exemple.

10. Parmi les matériaux employés aux constructions, on distingue principalement la pierre, la brique, le bois, le fer, les métaux, la chaux, le sable et le plâtre.

Les caractères apparents ou physiques des matériaux, en les considérant suivant l'ordre dans lequel ils se présentent au constructeur, sont : la couleur, la transparence, la texture

qui fait pressentir les différences que nous venons d'indiquer; la dureté, la tenacité, qualités qu'on ne doit pas confondre; la première est la résistance qu'oppose un corps à être rayé par un autre, par une pointe d'acier, par exemple; la deuxième est la résistance au choc du marteau: la pierre à fusil jouit d'une grande dureté et n'est pas tenace; la pierre à plâtre est peu dure et ne cède pas facilement au choc du marteau.

Si l'on discute l'importance de ces principaux caractères, on reconnaît facilement qu'ils ne peuvent servir de base de classification des matériaux, car souvent ils sont extrêmement différents dans des substances, qui cependant ne sont évidemment que des variétés de la même espèce. Ainsi la pierre calcaire, l'une des substances les plus répandues dans la nature, possède tous les genres de texture indiqués ci-dessus. En effet, on la trouve souvent cristallisée, dans les fentes et cavités des terrains calcaires; elle a une texture saccharoïde, dans le marbre blanc statuaire; compacte dans la plupart des marbres employés dans les usages habituels, terreuse dans la craie. Plusieurs autres substances de même espèce présentent les mêmes variétés de texture, il est donc impossible de prendre ce caractère pour base d'une classification, mais il est très-propre pour subdiviser une même espèce en plusieurs sous-espèces.

La couleur est un caractère encore moins spécifique que la texture, elle varie suivant les mélanges accidentels qui souillent les substances et en modifient la couleur à l'infini.

La dureté et la tenacité sont également des caractères très-variables dans la même espèce, dont les variétés peuvent être plus ou moins dures, plus ou moins tenaces, quoique dans certaines limites, soit par le résultat des mélanges, soit par la nature de leur texture, ou les altérations qu'elles ont subies.

11. La classification des matériaux qu'il est le plus convenable d'adopter dans l'art de bâtir, est celle qui résulte de la composition chimique. Nous nous occuperons d'abord des pierres et nous les diviserons en:

CALCAIRES,

ARGILEUSES,

GYPSEUSES,

SILICEUSES,

COMPOSÉES.

PIERRES CALCAIRES.

Les pierres calcaires sont rayées par une pointe d'acier, font effervescence avec les acides et donnent de la chaux par la calcination. Elles présentent de grandes variétés de couleur, du blanc au jaunâtre, au bleuâtre, au rouge, au verdâtre et au noir. Ces teintes résultent de substances étrangères qui sont souvent faciles à distinguer; ainsi le jaune est donné par un oxyde de fer, le gris et le noir par des matières charbonneuses et bitumineuses d'une grande ténuité, le verdâtre par le talc, etc.

Cette classe comprend le plus grand nombre de pierres en usage dans les constructions; elle est très-abondamment répandue dans la nature et se présente sous plusieurs états bien distincts; nous allons décrire les variétés qui peuvent intéresser l'ingénieur.

La pesanteur spécifique de ces pierres varie de 2,50 à 2,90.

CALCAIRE SACCHAROÏDE.

12. Cette variété est mieux connue sous le nom de marbre, elle est plus tenace et plus dure que les autres calcaires, sa cassure est analogue à celle du sucre, comme lui elle offre une multitude de points brillants. Cette ressemblance lui a fait donner le nom de saccharoïde; le grain est plus ou moins gros. La texture est cristalline ou semi-cristalline. Parfaitement pur, ce calcaire est d'un blanc éclatant, translucide sur les bords, tel est le marbre blanc de carare. Dans les marbres colorés on le trouve pur soit en lignes brisées, soit à la place des débris organiques, tels que coquilles, auxquels il s'est substitué et dont il reproduit les contours les plus déliés. En général tous les marbres statuaires sont des calcaires de cette variété, de même que les plus estimés en architecture, tels que le bleu turquin et le jaune antique. Dans un état de cristallisation plus avancé, le calcaire saccharoïde prend la texture lamellaire, mais cette sous-espèce se trouve généralement en très-petite quantité et ne mérite pas de fixer l'attention du constructeur, elle forme les stalactites que l'on trouve dans les grottes. Quand au contraire, la cristallisation est moins avancée, le grain devient plus fin et la roche passe au calcaire compacte.

Le calcaire saccharoïde se rencontre dans les terrains primitifs, c'est-à-dire dans ceux qui forment la croûte la plus

ancienne du globe. Plus la cristallisation est parfaite, plus il paraît appartenir aux formations anciennes.

Ce calcaire est ordinairement très-pur et donne par la calcination de la chaux grasse. Cependant, il y a une variété qui est quelquefois très-blanche et à texture lamellaire ou saccharoïde qui contient du carbonate de magnésie. Celle-là ne donne qu'une mauvaise chaux maigre, non hydraulique, c'est-à-dire ne pouvant durcir dans l'eau. Elle est connue sous le nom de *dolomie*, quelquefois elle ne présente pas la texture cristalline, alors elle doit être rangée dans la classe des calcaires compactes.

CALCAIRE COMPACTE.

13. Ce calcaire a une texture compacte, un grain plus fin et plus serré que le précédent, et un aspect homogène; quelquefois, comme la pierre lithographique ou le cliquart, il se brise facilement et présente une cassure lisse et conchoïde, c'est-à-dire en lignes arrondies; d'autres fois il est plus dur et plus tenace, sa cassure est esquilleuse, c'est-à-dire en forme de la cassure des os ou du bois, et présente des éclats translucides. Les couleurs de ces premières variétés sont ternes, jaune-clair, jaunâtres, bleuâtres, grises et noires; lorsque le grain en est très-serré, elles peuvent prendre un beau poli, elles sont les plus compactes et les plus dures, mais aussi les moins répandues.

Les variétés du calcaire compacte les plus communes ont le grain visible, un peu lâche, quelquefois terreux; elles happent à la langue, sont entièrement opaques, la cassure en est inégale et souvent rude au toucher.

Le calcaire compacte est très-abondant, il constitue la plus grande partie des formations secondaires. Il présente souvent des mélanges d'argile, de silice et de magnésie, c'est aux deux premières de ces substances qu'est due la propriété de certains de ces calcaires de donner de la chaux hydraulique, sur laquelle nous reviendrons. Le calcaire compacte fournit une grande variété de marbres bigarrés, mais ils sont moins estimés généralement que ceux de texture cristalline, leur dureté est moindre et ils ne prennent qu'un poli moins beau.

Les couleurs des marbres bigarrés sont dues aux oxydes métalliques; on leur a donné des dénominations puisées soit dans l'apparence, soit dans la couleur, quelques-uns des plus beaux sont le *veiné*; l'*œil d'oiseau*; le *brèche* composé de petits fragments anguleux empatés dans un ciment calcaire naturel; le *poudingue* qui ne diffère du brèche qu'en ce que

les fragments sont arrondis au lieu d'être anguleux; le *coquillé* qui contient différentes coquilles unies par un ciment calcaire; le *vert-antique*, mélange de calcaire et de serpentine à pâte très-fine, etc.

Les ingénieurs et constructeurs comprennent ordinairement sous le nom de *marbre* toutes les pierres susceptibles de prendre un poli fin, et c'est même la vraie signification de ce mot. Ainsi les anciens appelaient marbres, les granites, les porphyres, les jaspes et les albâtres. Maintenant il est d'usage de n'appliquer cette dénomination qu'aux pierres calcaires, à texture cristalline ou compacte, susceptibles de prendre le poli.

Parmi les variétés du calcaire compacte nous indiquerons :

1° *Le Calcaire concrétionné.*

Le travertin appartient à cette classe de calcaires qui sont souvent ferrugineux, quelquefois siliceux, durs et tenaces, d'un grain fin, ordinairement celluleux et même caverneux. La cassure est très-inégale, elle présente des parties lisses, compactes et d'autres raboteuses. Le travertin de Rome a le grain très-fin, mais il est persillé, sa couleur est foncée, il résiste bien aux intempéries de l'air.

2° *Le Calcaire crayeux.*

C'est un des plus connus, la texture en est terreuse, à grains fins; souvent friable, quelquefois ayant assez de consistance pour être employé dans les constructions, mais toujours tendre et facile à couper, couleurs claires, blanche, grisâtre et verdâtre.

3° *Le Calcaire grossier.*

Il est de texture lâche, terreuse et à grains grossiers. Il a quelquefois assez de consistance pour être employé comme moëllon; couleur jaunâtre; cassure inégale et rude au toucher.

4° *Le Calcaire oolitique.*

Le calcaire compacte qui a pris la dénomination de calcaire oolitique, le doit à sa texture très-singulière, c'est une agglomération de petits grains ronds comme le seraient des œufs de poisson. Quelquefois les grains sont composés de couches concentriques, ce qui fait supposer qu'ils sont produits par une concrétion.

5° *Le calcaire siliceux.*

Le calcaire siliceux est d'autant plus dur et plus compacte qu'il est plus pénétré de silice. Le mélange des deux éléments est tellement intime qu'on ne peut les distinguer. Lorsque la silice domine, ce calcaire fait feu au briquet, et l'effervescence par les acides cesse presqu'entièrement. Quelques variétés sont susceptibles de prendre le poli. On a employé ce calcaire à la construction de plusieurs monuments à Paris, notamment de l'arc de triomphe de l'étoile, de la bourse, du château d'eau, etc., etc.

14. Le calcaire fournit la plupart des pierres de taille ou des moëllons employés dans les constructions. Ces pierres se distinguent en pierres tendres ou dures.

Les pierres dures sont celles qui ne peuvent se débiter qu'au moyen de la scie à l'eau et au grès : tels sont les marbres et quelques-uns des bancs des carrières des environs de Paris, nommés *liais* et *cliquart*.

Les pierres tendres calcaires se débitent à la scie à dent. Celles de Conflans et de Saint-Leu, employées à Paris, sont de cette espèce.

Les qualités qui caractérisent le plus ou moins de bonté de ces pierres sont : un grain fin et homogène, une contexture compacte, uniforme et d'une dureté égale, enfin la faculté de ne point absorber d'humidité.

PIERRES ARGILEUSES.

15. D'après l'aspect sous lequel l'argile se présente généralement à nos yeux, c'est-à-dire sous une consistance molle, délayable et susceptible de faire pâte avec l'eau, il est assez difficile de concevoir comment cette matière a pu servir de principes censtituants à certaines pierres. Cependant si l'on considère que l'argile soumise à une température très-élevée, perd la propriété de se délayer, et passe ainsi sous forme de poterie ou de briques à une consistance qui se rapproche de celle des pierres, on admettra qu'il a bien pu se produire un phénomène analogue dans la nature.

Le schiste à ardoises dont les caractères, la nuance, la texture et la dureté sont connus de tout le monde, peut servir de type aux pierres argileuses. Les schistes ne sont pas toujours composés de lames superposées susceptibles d'être divisées en feuilles minces, on les emploie alors comme moëllons et même comme pierres de taille dans la Bretagne,

Les grès, très-employés dans les constructions, ne sont autre chose que le résultat et la réunion de fragments de quartz par un ciment siliceux, calcaire ou argileux; leur dureté varie suivant l'espèce de ciment; il y en a de très-durs, d'autres qui sont friables. La cassure est unie, tantôt mate, tantôt brillante; leur couleur est ordinairement grise, quelquefois rougeâtre, ce qui tient à la présence de substances étrangères.

Les grès les plus durs sont employés pour le pavé; ceux dont le grain est moins serré s'emploient en pierre de taille; enfin le grès tendre fournit les meules à aiguiser les outils et les pierres à filtrer les eaux.

Cette substance est employée avec succès dans les constructions, soit à l'air, soit dans l'eau; elle résiste aux effets de la gelée et ne se détruit pas à l'air; cependant, on s'en sert rarement comme moëllon, parce qu'on a observé qu'elle faisait difficilement prise avec le mortier.

PIERRES COMPOSÉES.

18. On nomme pierres composées celles à parties agrégées les unes aux autres. Parmi ces pierres, il en est quelques-unes qui sont formées par l'agrégation immédiate de minéraux différents, accolés les uns aux autres soit par la force de cohésion, soit par l'enlacement de leurs parties. Il en est d'autres (comme le grès, que nous avons classé parmi les pierres siliceuses, parce qu'il ne contient que des fragments de quartz) dans lesquelles les grains du même minéral ou les minéraux divers sont unis par un ciment naturel.

Celles qui résultent de l'agrégation immédiate des minéraux divers, sont connues sous le nom de pierres granitiques. On comprend sous cette dénomination les *granites*, les *gneiss* et la *syenite*.

19. 1° *Granite*. Cette pierre est composée de feldspath, de quartz et de mica. Ces trois minéraux sont en grains cristallins accolés sans laisser de vide; la proportion des principes constituants et la dimension des grains sont très-variables. Le feldspath domine généralement; le quartz et le mica diminuent quelquefois de manière à disparaître en certains points.

Le feldspath est mat, opaque; sa couleur passe du blanc au jaunâtre et au rouge intense; elle détermine celle du granite. Exposé quelque temps à l'air, ce minéral prend une nuance d'un blanc terne; lorsque ses grains sont d'une grosseur suffisante, ils ont une texture lamelleuse.

Le quartz est vitreux, translucide, d'une couleur variant du grès enfumé au blanc opalin ou au verre de couleur lactée.

Le mica est brillant, feuilleté en paillettes arrondies, dont la grandeur varie ordinairement depuis un centimètre jusqu'à devenir à peine perceptible ; sa couleur la plus ordinaire est le blanc nacré, le jaune et le noir. Il ressemble quelquefois aux petites écailles de poissons.

Le granite prend rarement un beau poli à cause de l'exfoliation du mica. Les constructeurs en distinguent deux espèces : le granite dur et le granite tendre.

Le quartz abonde dans le premier, et il contient peu de mica ; on le préfère pour les constructions. Cette pierre se trouve en grandes masses ou en blocs isolés ; on la rencontre dans plusieurs départements de France, principalement dans la Bretagne, dans les Vosges, la Bourgogne et l'Auvergne.

Cette pierre convient à la construction des ouvrages hydrauliques, et surtout lorsqu'ils sont exposés au choc des vagues de la mer. On s'en sert pour les colonnes des édifices ; les obélisques d'Egypte sont de l'espèce connue sous le nom de granite oriental.

Le granite tendre contient fort peu de quartz, il se taille facilement, mais il ne conserve pas bien ses arêtes et ne forme pas de belles constructions.

20. 2° *Gneiss*. Les minéraux constituants de cette pierre sont les mêmes que ceux du granite : le feldspath, le quartz et le mica ; la différence repose uniquement sur leur mode d'association. Le caractère essentiel du gneiss est une structure schistoïde due à l'abondance du mica et à sa disposition suivant des plans continus. L'affinité de cohésion des divers minéraux est moins grande dans cette pierre que dans la précédente, sa texture est aussi moins compacte ; il est par suite tout-à-fait impropre à être poli.

21. 3° *Syenite*. C'est un granite dans lequel le mica est remplacé par l'amphibole (hornblende) ; aussi lorsque cette dernière substance est très-disséminée, est-il souvent très difficile de la distinguer. La couleur générale de la masse est tantôt grise, tantôt rougeâtre. Quand la pierre est humectée les molécules d'amphibole se distinguent quelquefois facilement à leur teinte verdâtre. Plus le quartz tend à disparaître, plus la syenite diffère du granite.

Sous le rapport de la force, de la dureté et de la durée, le granite, le gneiss et la syenite occupent le premier rang parmi les matériaux de construction.

BASALTE.

22. Le basalte est encore une pierre composée des différents éléments dont nous avons parlé ; on le trouve dans les terrains volcaniques ; il forme des masses, des couches ou coulées considérables. Sa couleur est d'un noir grisâtre ; sa cassure est inégale, plutôt esquilleuse que conchoïde.

Les basaltes sont lourds, tenaces, accidentellement semi-vitreux. Leur texture est quelquefois très-bulleuse ou cellulaire, mais c'est le cas le moins fréquent. Lorsqu'il est d'un grain fin et serré, il peut prendre un beau poli.

23. 5o *Porphyre*. D'après la définition que nous avons donnée de la structure porphyrique, il y a des porphyres de différentes natures ; ainsi, lorsqu'on rencontre des cristaux de feldspath dans une pâte de granit, on a un porphyre granitique ; lorsque les cristaux de feldspath se trouvent dans une pâte de pétrosilex (feldspath compacte) compacte, grenu ou terreux, on a un porphyre feldspathique. Ces cristaux sont ordinairement opaques, cependant ils sont vitreux et translucides dans quelques localités. Lorsque la pâte est à grain fin, le porphyre peut prendre un beau poli, les couleurs les plus ordinaires sont le jaunâtre, le brun plus ou moins foncé, le rouge et enfin le vert, lorsque le pâte contient un peu d'amphibole.

Le plus souvent on rencontre des cristaux de quartz dans les porphyres feldspathique et l'on a les porphyres quartzifères qui sont les plus répandus. Ils ne prennent pas aussi bien le poli que les précédents, et ils sont généralement moins compactes.

Le porphyre est une matière très-difficile à travailler, c'est ce qui fait le haut prix des objets auxquels on l'emploie. Elle est presque exclusivement réservée pour les décorations intérieures.

24. Nous venons d'exposer la classification générale des pierres, sous le rapport scientifique. Mais les ouvriers, en ne les considérant que sous des rapports plus faciles à observer et à servir, se bornent à les classer, abstraction faite de leurs principes constituants, en pierre tendre et en pierre dure.

Nous avons parlé de cette qualité dans chacune des espèces décrites.

L'échantillon ou grandeur du bloc produit encore une autre division, en *pierre de taille*, en *moellon*, ou en *libages*.

Les *pierres de taille* sont celles qui peuvent prendre une

Il n'est pas rare qu'au bout de cette première épreuve, il soit détaché des fragments assez nombreux des pierres soumises à l'essai; mais il faut, pour avoir des résultats plus certains, laisser effleurir de nouveau et arroser la pierre pendant cinq à six jours : au bout de ce temps, si l'atmosphère a été sèche et que les efflorescences se soient formées, on doit être fixé sur les bonnes ou mauvaises qualités des pierres. On lave alors l'échantillon à grande eau; l'on réunit les fragments qui se sont détachés pendant le temps de l'expérience, et l'on juge par leur quantité du degré d'altération qu'éprouveraient les pierres, si on les exposait à l'action de la gelée.

M. Brard a trouvé, dans ses expériences, que les pierres très-gélives se sont détériorées dans le courant de trois jours; quelques-unes étaient entièrement détruites; celles de qualité médiocre ont résisté cinq jours; mais presque aucune pierre calcaire n'a pu supporter une épreuve de vingt jours. Ces résultats prouvent que l'action du sulfate de soude est plus énergique que celle de la gelée, et que, pour avoir des résultats qui puissent guider le constructeur dans la pratique, il ne faut soumettre les pierres qu'à une expérience de quelques jours. Une huitaine paraît devoir donner un effet maximum.

27. M. Héricart de Thury a répété les expériences de M. Brard, en y faisant quelques changements : après avoir également fait bouillir les pierres d'épreuve dans une dissolution de sulfate de soude saturée à froid, il les a suspendues à des fils, et il a placé au-dessous, des vases contenant une certaine quantité de dissolution. Lorsque le sel est effleuri, il plonge l'échantillon dans le liquide afin de dissoudre le sel de la surface; il a reconnu ainsi que des pierres des environs de Paris, entièrement semblables par leurs caractères extérieurs, sont tantôt gélives et tantôt ne le sont pas.

28. M. Vicat, ingénieur en chef des ponts-et-chaussées, a fait aussi des expériences sur ce sujet, en variant le degré de saturation de la dissolution. D'abord il la saturait à chaud; elle contient ainsi plus de sulfate que d'eau. Une suite d'expériences lui a prouvé que cette dissolution concentrée ne pouvait être employée, car elle présentait comme très-gélifs, des mortiers ayant subi sans altération les intempéries de dix hivers et qui avaient supporté plusieurs fois 12° de froid. Une seconde série d'expériences, faites avec de l'eau saturée à froid, lui a fait penser que cette dissolution produirait moins d'effet qu'une gelée à 12°. Ensuite, par plusieurs séries d'expériences, dans lesquelles, sur 1.00 d'eau, il y avait 1.00, 0.75, 0.50, 0.25, 0.10, 0 de sulfate de soude, les accidents ont été

proportionnels à la quantité de sulfate ; rien ne s'est manifesté dans les deux dernières séries : la première et la deuxième ont donné des résultats égaux. La troisième seulement a présenté des résultats variés en raison de la qualité des pierres, des briques et des mortiers essayés. Il a remarqué aussi que l'action de la dissolution diminuait beaucoup, quand on n'y faisait bouillir l'échantillon que dix minutes ; elle augmente en prolongeant l'ébullition pendant une heure.

DE LA BRIQUE.

29. La brique est une pierre factice, faite avec de l'argile, qui est d'un usage très-fréquent dans les constructions, où elle remplace tout à la fois la pierre de taille et le moellon. On s'en sert presque exclusivement dans certains pays, qui manquent d'autres matériaux. Aussi mérite-t-elle d'être étudiée avec soin. Nous examinerons d'abord les argiles dont se composent les briques.

On entend communément par argile, dans le langage vulgaire, des masses terreuses plus ou moins endurcies, en général *onctueuses, absorbant l'eau et faisant pâte* avec elle, quelquefois mais rarement s'y divisant, et susceptibles de se durcir au feu. En général, elles happent à la langue.

Un certain nombre de matières terreuses, que l'on ne range point dans les argiles, possèdent cependant les caractères généraux que nous venons de décrire, par exemple la terre à porcelaine ; mais il n'est pas moins vrai que l'on classe parmi les argiles, le plus grand nombre de masses terreuses qui ont ces caractères.

La composition des argiles n'est pas bien connue, on sait seulement que ce sont des silicates alumineux mélangés, soit entre eux, soit avec diverses substances. Les proportions de leurs parties constituantes sont très-variables, non-seulement d'une localité à l'autre, mais encore dans les divers points d'un même dépôt. Elles paraissent former deux classes bien distinctes.

1° Les argiles dans lesquelles l'eau est en partie à l'état de combinaison chimique.

2° Les argiles qui ne contiennent que de l'eau mélangée, dans la proportion de 10 à 12 p. 0/0.

30. Les premières paraissent avoir été le produit d'un dépôt chimique ; leur pâte, très-homogène, est translucide sur les bords, surtout dans les fragments minces. On en enlève facilement des espèces de morceaux, comme dans le plomb métallique. Elles sont solubles en entier dans les acides.

Il n'est pas rare qu'au bout de cette première épreuve, il se soit détaché des fragments assez nombreux des pierres soumises à l'essai; mais il faut, pour avoir des résultats plus certains, laisser effleurir de nouveau et arroser la pierre pendant cinq à six jours : au bout de ce temps, si l'atmosphère a été sèche et que les efflorescences se soient formées, on doit être fixé sur les bonnes ou mauvaises qualités des pierres. On lave alors l'échantillon à grande eau; l'on réunit les fragments qui se sont détachés pendant le temps de l'expérience, et l'on juge par leur quantité du degré d'altération qu'éprouveraient les pierres, si on les exposait à l'action de la gelée.

M. Brard a trouvé, dans ses expériences, que les pierres très-gélives se sont détériorées dans le courant de trois jours; quelques-unes étaient entièrement détruites; celles de qualité médiocre ont résisté cinq jours; mais presque aucune pierre calcaire n'a pu supporter une épreuve de vingt jours. Ces résultats prouvent que l'action du sulfate de soude est plus énergique que celle de la gelée, et que, pour avoir des résultats qui puissent guider le constructeur dans la pratique, il ne faut soumettre les pierres qu'à une expérience de quelques jours. Une huitaine paraît devoir donner un effet maximum.

27. M. Héricart de Thury a répété les expériences de M. Brard, en y faisant quelques changements : après avoir également fait bouillir les pierres d'épreuve dans une dissolution de sulfate de soude saturée à froid, il les a suspendues à des fils, et il a placé au-dessous, des vases contenant une certaine quantité de dissolution. Lorsque le sel est effleuri, il plonge l'échantillon dans le liquide afin de dissoudre le sel de la surface; il a reconnu ainsi que des pierres des environs de Paris, entièrement semblables par leurs caractères extérieurs, sont tantôt gélives et tantôt ne le sont pas.

28. M. Vicat, ingénieur en chef des ponts-et-chaussées, a fait aussi des expériences sur ce sujet, en variant le degré de saturation de la dissolution. D'abord il la saturait à chaud; elle contient ainsi plus de sulfate que d'eau. Une suite d'expériences lui a prouvé que cette dissolution concentrée ne pouvait être employée, car elle présentait comme très-gélifs, des mortiers ayant subi sans altération les intempéries de dix hivers et qui avaient supporté plusieurs fois 12° de froid. Une seconde série d'expériences, faites avec de l'eau saturée à froid, lui a fait penser que cette dissolution produirait moins d'effet qu'une gelée à 12°. Ensuite, par plusieurs séries d'expériences, dans lesquelles, sur 1.00 d'eau, il y avait 1.00, 0.75, 0.50, 0.25, 0.10, 0 de sulfate de soude, les accidents ont été

proportionnels à la quantité de sulfate ; rien ne s'est manifesté dans les deux dernières séries : la première et la deuxième ont donné des résultats égaux. La troisième seulement a présenté des résultats variés en raison de la qualité des pierres, des briques et des mortiers essayés. Il a remarqué aussi que l'action de la dissolution diminuait beaucoup, quand on n'y faisait bouillir l'échantillon que dix minutes ; elle augmente en prolongeant l'ébullition pendant une heure.

DE LA BRIQUE.

29. La brique est une pierre factice, faite avec de l'argile, qui est d'un usage très-fréquent dans les constructions, où elle remplace tout à la fois la pierre de taille et le moellon. On s'en sert presque exclusivement dans certains pays, qui manquent d'autres matériaux. Aussi mérite-t-elle d'être étudiée avec soin. Nous examinerons d'abord les argiles dont se composent les briques.

On entend communément par argile, dans le langage vulgaire, des masses terreuses plus ou moins endurcies, en général *onctueuses, absorbant l'eau et faisant pâte* avec elle, quelquefois mais rarement s'y divisant, et susceptibles de se durcir au feu. En général, elles happent à la langue.

Un certain nombre de matières terreuses, que l'on ne range point dans les argiles, possèdent cependant les caractères généraux que nous venons de décrire, par exemple la terre à porcelaine ; mais il n'est pas moins vrai que l'on classe parmi les argiles, le plus grand nombre de masses terreuses qui ont ces caractères.

La composition des argiles n'est pas bien connue, on sait seulement que ce sont des silicates alumineux mélangés, soit entre eux, soit avec diverses substances. Les proportions de leurs parties constituantes sont très-variables, non-seulement d'une localité à l'autre, mais encore dans les divers points d'un même dépôt. Elles paraissent former deux classes bien distinctes.

1° Les argiles dans lesquelles l'eau est en partie à l'état de combinaison chimique.

2° Les argiles qui ne contiennent que de l'eau mélangée, dans la proportion de 10 à 12 p. 0/0.

30. Les premières paraissent avoir été le produit d'un dépôt chimique ; leur pâte, très-homogène, est translucide sur les bords, surtout dans les fragments minces. On en enlève facilement des espèces de morceaux, comme dans le plomb métallique. Elles sont solubles en entier dans les acides.

Il n'est pas rare qu'au bout de cette première épreuve, il se soit détaché des fragments assez nombreux des pierres soumises à l'essai; mais il faut, pour avoir des résultats plus certains, laisser effleurir de nouveau et arroser la pierre pendant cinq à six jours : au bout de ce temps, si l'atmosphère a été sèche et que les efflorescences se soient formées, on doit être fixé sur les bonnes ou mauvaises qualités des pierres. On lave alors l'échantillon à grande eau; l'on réunit les fragments qui se sont détachés pendant le temps de l'expérience, et l'on juge par leur quantité du degré d'altération qu'éprouveraient les pierres, si on les exposait à l'action de la gelée.

M. Brard a trouvé, dans ses expériences, que les pierres très-gélives se sont détériorées dans le courant de trois jours; quelques-unes étaient entièrement détruites; celles de qualité médiocre ont résisté cinq jours; mais presque aucune pierre calcaire n'a pu supporter une épreuve de vingt jours. Ces résultats prouvent que l'action du sulfate de soude est plus énergique que celle de la gelée, et que, pour avoir des résultats qui puissent guider le constructeur dans la pratique, il ne faut soumettre les pierres qu'à une expérience de quelques jours. Une huitaine paraît devoir donner un effet maximum.

27. M. Héricart de Thury a répété les expériences de M. Brard, en y faisant quelques changements : après avoir également fait bouillir les pierres d'épreuve dans une dissolution de sulfate de soude saturée à froid, il les a suspendues à des fils, et il a placé au-dessous, des vases contenant une certaine quantité de dissolution. Lorsque le sel est effleuri, il plonge l'échantillon dans le liquide afin de dissoudre le sel de la surface; il a reconnu ainsi que des pierres des environs de Paris, entièrement semblables par leurs caractères extérieurs, sont tantôt gélives et tantôt ne le sont pas.

28. M. Vicat, ingénieur en chef des ponts-et-chaussées, a fait aussi des expériences sur ce sujet, en variant le degré de saturation de la dissolution. D'abord il la saturait à chaud; elle contient ainsi plus de sulfate que d'eau. Une suite d'expériences lui a prouvé que cette dissolution concentrée ne pouvait être employée, car elle présentait comme très-gélifs, des mortiers ayant subi sans altération les intempéries de dix hivers et qui avaient supporté plusieurs fois 12° de froid. Une seconde série d'expériences, faites avec de l'eau saturée à froid, lui a fait penser que cette dissolution produirait moins d'effet qu'une gelée à 12°. Ensuite, par plusieurs séries d'expériences, dans lesquelles, sur 1.00 d'eau, il y avait 1.00, 0.75, 0.50, 0.25, 0.10, 0 de sulfate de soude, les accidents ont été

proportionnels à la quantité de sulfate; rien ne s'est manifesté dans les deux dernières séries : la première et la deuxième ont donné des résultats égaux. La troisième seulement a présenté des résultats variés en raison de la qualité des pierres, des briques et des mortiers essayés. Il a remarqué aussi que l'action de la dissolution diminuait beaucoup, quand on n'y faisait bouillir l'échantillon que dix minutes; elle augmente en prolongeant l'ébullition pendant une heure.

DE LA BRIQUE.

29. La brique est une pierre factice, faite avec de l'argile, qui est d'un usage très-fréquent dans les constructions, où elle remplace tout à la fois la pierre de taille et le moellon. On s'en sert presque exclusivement dans certains pays, qui manquent d'autres matériaux. Aussi mérite-t-elle d'être étudiée avec soin. Nous examinerons d'abord les argiles dont se composent les briques.

On entend communément par argile, dans le langage vulgaire, des masses terreuses plus ou moins endurcies, en général *onctueuses, absorbant l'eau et faisant pâte* avec elle, quelquefois mais rarement s'y divisant, et susceptibles de se durcir au feu. En général, elles happent à la langue.

Un certain nombre de matières terreuses, que l'on ne range point dans les argiles, possèdent cependant les caractères généraux que nous venons de décrire, par exemple la terre à porcelaine; mais il n'est pas moins vrai que l'on classe parmi les argiles, le plus grand nombre de masses terreuses qui ont ces caractères.

La composition des argiles n'est pas bien connue, on sait seulement que ce sont des silicates alumineux mélangés, soit entre eux, soit avec diverses substances. Les proportions de leurs parties constituantes sont très-variables, non-seulement d'une localité à l'autre, mais encore dans les divers points d'un même dépôt. Elles paraissent former deux classes bien distinctes.

1° Les argiles dans lesquelles l'eau est en partie à l'état de combinaison chimique.

2° Les argiles qui ne contiennent que de l'eau mélangée, dans la proportion de 10 à 12 p. 0/0.

30. Les premières paraissent avoir été le produit d'un dépôt chimique; leur pâte, très-homogène, est translucide sur les bords, surtout dans les fragments minces. On en enlève facilement des espèces de morceaux, comme dans le plomb métallique. Elles sont solubles en entier dans les acides.

forme convenable à l'emploi qu'on veut en faire, ce sont des pierres de sujétion dont toutes les dimensions sont calculées et prévues d'avance.

Le *moellon* est la pierre de petit échantillon, il sert ordinairement à la construction de l'intérieur des maçonneries, quelquefois on l'emploie cependant pour les parements des murs, lorsque l'ouvrage n'exige pas de grands soins.

Une espèce de moellon tient le milieu entre la pierre de taille et le moellon ordinaire, c'est le *moellon piqué*, il est équarri et réduit à une hauteur uniforme, son parement est taillé à la pointe; c'est de la pierre de taille de petit appareil.

On distingue enfin une troisième espèce de moellon, c'est le moellon smillé, ce sont les plus forts morceaux des moellons ordinaires que l'on équarrit grossièrement au marteau nommé smille, pour l'employer aux parements.

Les qualités essentielles à prendre en considération dans le choix des pierres à bâtir, sont la force, la dureté et la durée. Il est remaquable que l'une quelconque de ces qualités est le plus souvent accompagnée des deux autres. Il serait imprudent d'estimer la qualité d'une pierre à bâtir d'après son apparence, on peut cependant dire d'une manière générale qu'une texture serrée, un grain fin, une couleur foncée et une grande pesanteur spécifiques sont les indices d'une bonne pierre. Il est inutile de dire que certains défauts que l'on constate par l'examen le plus simple, tels que les fentes, les parties tendres, les fissures, les cavités et les minéraux étrangers, particulièrement les composés de fer, doivent faire rejeter une pierre, bien que du reste elle soit d'une bonne composition. Une très-grande dureté est aussi un motif légitime d'exclusion, si le travail de la taille nécessite des frais hors de proportion avec la destination des matériaux, ou bien encore s'ils doivent être employés en marches ou pavages, parce que les pierres douées d'une très-grande dureté deviennent glissantes par le frottement et peuvent ainsi donner lieu à des accidents.

Dans les travaux de maçonnerie, on doit avoir soin de poser les pierres dans la même position que dans leur lit de carrière. Elles résistent mieux de cette manière à la pression qu'elles doivent supporter. Les maçons intelligents ont toujours soin de ne jamais poser des pierres en *délit*.

Une des qualités les plus indispensables des pierres, est de résister à l'action de la gelée, ou de n'être point *gélives*. Avant d'employer une pierre qu'on ne connaît pas sous ce rapport, on doit la soumettre à l'expérience.

25. Les caractères extérieurs suffisent quelquefois pour reconnaître les pierres gélives; ainsi les pierres siliceuses, les calcaires siliceux, les calcaires saccharoïdes, les calcaires compactes et esquilleux, résistent très-bien à l'action de la gelée. Parmi les grès, ceux à ciment siliceux n'éprouvent aucune altération par l'intempérie des saisons. Si, dans ces cas particuliers, les caractères extérieurs peuvent servir de guide pour le choix des pierres, le plus ordinairement ils ne sont d'aucun secours, surtout pour les calcaires. Pour comprendre l'action destructive de la gelée sur certaines pierres, il faut se rappeler que l'eau, en passant de l'état liquide à l'état de glace, augmente de volume; c'est cette espèce de dilatation qui fait éclater les vases dans lesquels on a laissé de l'eau en hiver pendant les fortes gelées; le même effet se produit sur les pierres.

Il y a deux espèces de pierres plus gélives que toutes les autres, celles qui contiennent de l'argile, et celles qui présentent des cavités telles que la glace ne peut avoir d'expansion qu'en les brisant. Les pierres argileuses se dilatent souvent sans avoir été soumises à l'action de la gelée : la simple exposition à l'air suffit, quand l'argile est en quantité considérable, pour les faire fendiller dans tous les sens. Lorsque l'argile est en moindre proportion, il se forme seulement des fentes dans lesquelles l'eau s'introduit, et, en se congelant, elle fait éclater la pierre.

Plusieurs composés chimiques, et entre autres le sulfate de soude, jouissent de la propriété d'augmenter de volume en passant par la cristallisation de l'état liquide à l'état solide. On met à profit cette observation pour produire sur les pierres que l'on veut essayer, un effet entièrement semblable à celui de la gelée.

26. M. Brard est un des premiers qui ait soumis des pierres à des essais de cette nature; il a pris des cubes de cinq centimètres de côté sciés et non taillés au marteau, de crainte que par ce dernier moyen, il n'y eût des fragments non entièrement détachés, et qui seraient tombés pendant l'expérience. Il les a fait bouillir pendant une demi-heure dans une dissolution saturée à froid de sulfate de soude. Ensuite il met les cubes dans des assiettes contenant environ deux millimètres d'épaisseur de la dissolution, et les place dans une chambre dont la température est de 12 à 15°, pour que l'évaporation puisse avoir lieu; au bout de vingt-quatre heures à peu près, les pierres se couvrent d'une efflorescence saline; on prend alors une certaine quantité d'eau pure, et on arrose les pierres jusqu'à ce que toutes les efflorescences salines aient disparu.

Il n'est pas rare qu'au bout de cette première épreuve, il se soit détaché des fragments assez nombreux des pierres soumises à l'essai; mais il faut, pour avoir des résultats plus certains, laisser effleurir de nouveau et arroser la pierre pendant cinq à six jours : au bout de ce temps, si l'atmosphère a été sèche et que les efflorescences se soient formées, on doit être fixé sur les bonnes ou mauvaises qualités des pierres. On lave alors l'échantillon à grande eau; l'on réunit les fragments qui se sont détachés pendant le temps de l'expérience, et l'on juge par leur quantité du degré d'altération qu'éprouveraient les pierres, si on les exposait à l'action de la gelée.

M. Brard a trouvé, dans ses expériences, que les pierres très-gélives se sont détériorées dans le courant de trois jours; quelques-unes étaient entièrement détruites; celles de qualité médiocre ont résisté cinq jours; mais presque aucune pierre calcaire n'a pu supporter une épreuve de vingt jours. Ces résultats prouvent que l'action du sulfate de soude est plus énergique que celle de la gelée, et que, pour avoir des résultats qui puissent guider le constructeur dans la pratique, il ne faut soumettre les pierres qu'à une expérience de quelques jours. Une huitaine paraît devoir donner un effet maximum.

27. M. Héricart de Thury a répété les expériences de M. Brard, en y faisant quelques changements : après avoir également fait bouillir les pierres d'épreuve dans une dissolution de sulfate de soude saturée à froid, il les a suspendues à des fils, et il a placé au-dessous, des vases contenant une certaine quantité de dissolution. Lorsque le sel est effleuri, il plonge l'échantillon dans le liquide afin de dissoudre le sel de la surface; il a reconnu ainsi que des pierres des environs de Paris, entièrement semblables par leurs caractères extérieurs, sont tantôt gélives et tantôt ne le sont pas.

28. M. Vicat, ingénieur en chef des ponts-et-chaussées, a fait aussi des expériences sur ce sujet, en variant le degré de saturation de la dissolution. D'abord il la saturait à chaud; elle contient ainsi plus de sulfate que d'eau. Une suite d'expériences lui a prouvé que cette dissolution concentrée ne pouvait être employée, car elle présentait comme très-gélifs, des mortiers ayant subi sans altération les intempéries de dix hivers et qui avaient supporté plusieurs fois 12° de froid. Une seconde série d'expériences, faites avec de l'eau saturée à froid, lui a fait penser que cette dissolution produirait moins d'effet qu'une gelée à 12°. Ensuite, par plusieurs séries d'expériences, dans lesquelles, sur 1.00 d'eau, il y avait 1.00, 0.75, 0.50, 0.25, 0.10, 0 de sulfate de soude, les accidents ont été

proportionnels à la quantité de sulfate; rien ne s'est manifesté dans les deux dernières séries: la première et la deuxième ont donné des résultats égaux. La troisième seulement a présenté des résultats variés en raison de la qualité des pierres, des briques et des mortiers essayés. Il a remarqué aussi que l'action de la dissolution diminuait beaucoup, quand on n'y faisait bouillir l'échantillon que dix minutes; elle augmente en prolongeant l'ébullition pendant une heure.

DE LA BRIQUE.

29. La brique est une pierre factice, faite avec de l'argile, qui est d'un usage très-fréquent dans les constructions, où elle remplace tout à la fois la pierre de taille et le moellon. On s'en sert presque exclusivement dans certains pays, qui manquent d'autres matériaux. Aussi mérite-t-elle d'être étudiée avec soin. Nous examinerons d'abord les argiles dont se composent les briques.

On entend communément par argile, dans le langage vulgaire, des masses terreuses plus ou moins endurcies, en général *onctueuses, absorbant l'eau et faisant pâte* avec elle, quelquefois mais rarement s'y divisant, et susceptibles de se durcir au feu. En général, elles happent à la langue.

Un certain nombre de matières terreuses, que l'on ne range point dans les argiles, possèdent cependant les caractères généraux que nous venons de décrire, par exemple la terre à porcelaine; mais il n'est pas moins vrai que l'on classe parmi les argiles, le plus grand nombre de masses terreuses qui ont ces caractères.

La composition des argiles n'est pas bien connue, on sait seulement que ce sont des silicates alumineux mélangés, soit entre eux, soit avec diverses substances. Les proportions de leurs parties constituantes sont très-variables, non-seulement d'une localité à l'autre, mais encore dans les divers points d'un même dépôt. Elles paraissent former deux classes bien distinctes.

1° Les argiles dans lesquelles l'eau est en partie à l'état de combinaison chimique.

2° Les argiles qui ne contiennent que de l'eau mélangée, dans la proportion de 10 à 12 p. 0/0.

30. Les premières paraissent avoir été le produit d'un dépôt chimique; leur pâte, très-homogène, est translucide sur les bords, surtout dans les fragments minces. On en enlève facilement des espèces de morceaux, comme dans le plomb métallique. Elles sont solubles en entier dans les acides.

31. Les argiles de la deuxième classe sont insolubles dans les acides. Elles ne sont pas translucides, et happent plus fortement à la langue que les précédentes.

On distingue dans les arts, sept espèces différentes d'argile, que nous décrirons afin de pouvoir mieux faire connaître celle qui convient à la fabrication de la brique.

1° L'argile commune, ordinairement employée à la fabrication des poteries grossières et de la brique; elle est assez onctueuse, happe facilement à la langue, fait une pâte plus ou moins solide, ordinairement fusible à une température élevée, de sorte que les briques se frittent facilement à la surface.

Les couleurs habituelles des argiles communes sont le gris jaunâtre, le gris cendré, le jaune d'ocre et le brun jaunâtre. Souvent elles sont mélangées d'un peu de sable. L'analyse d'une argile de cette nature, employée dans les Ardennes, a donné la composition suivante :

Silice.	55,924	100,000
Alumine.	28,468	
Chaux.	0,308	
Oxyde de fer.	3,300	
Eau.	12,000	

2° L'argile plastique est la terre à potier, terre glaise, employée souvent pour la fabrication des poteries fines, quelquefois presque entièrement blanche, le plus souvent colorée en rouge par l'oxyde de fer; très-onctueuse, fait avec l'eau une pâte très-liante et très-ductile, prend beaucoup de retrait, et acquiert une grande solidité par l'action du feu. Les unes sont infusibles, les autres fusibles à des températures plus ou moins élevées, suivant la proportion de chaux et d'oxyde de fer qu'elles contiennent.

3° L'argile smectique ou terre à foulon; elle se délaie facilement dans l'eau, fait rarement pâte avec elle, par suite, difficile à employer pour la fabrication des poteries, ne happe que très-peu à la langue; onctueuse, très-savonneuse, fusible en scories brunes, elle contient une très-grande quantité d'eau.

4° L'argile marneuse, ou marne argileuse; elle est en général peu colorée, elle fait une longue et vive effervescence avec les acides. C'est un mélange d'argile et de carbonate de chaux, employée principalement pour l'amendement des terres.

5° L'argile ocreuse ou bolaire, terre de Sienne; elle est jaune, rougeâtre, ou rouge tachant les doigts, plus ou moins

proportionnels à la quantité de sulfate; rien ne s'est manifesté dans les deux dernières séries : la première et la deuxième ont donné des résultats égaux. La troisième seulement a présenté des résultats variés en raison de la qualité des pierres, des briques et des mortiers essayés. Il a remarqué aussi que l'action de la dissolution diminuait beaucoup, quand on n'y faisait bouillir l'échantillon que dix minutes; elle augmente en prolongeant l'ébullition pendant une heure.

DE LA BRIQUE.

29. La brique est une pierre factice, faite avec de l'argile, qui est d'un usage très-fréquent dans les constructions, où elle remplace tout à la fois la pierre de taille et le moellon. On s'en sert presque exclusivement dans certains pays, qui manquent d'autres matériaux. Aussi mérite-t-elle d'être étudiée avec soin. Nous examinerons d'abord les argiles dont se composent les briques.

On entend communément par argile, dans le langage vulgaire, des masses terreuses plus ou moins endurcies, en général *onctueuses, absorbant l'eau et faisant pâte* avec elle, quelquefois mais rarement s'y divisant, et susceptibles de se durcir au feu. En général, elles happent à la langue.

Un certain nombre de matières terreuses, que l'on ne range point dans les argiles, possèdent cependant les caractères généraux que nous venons de décrire, par exemple la terre à porcelaine; mais il n'est pas moins vrai que l'on classe parmi les argiles, le plus grand nombre de masses terreuses qui ont ces caractères.

La composition des argiles n'est pas bien connue, on sait seulement que ce sont des silicates alumineux mélangés, soit entre eux, soit avec diverses substances. Les proportions de leurs parties constituantes sont très-variables, non-seulement d'une localité à l'autre, mais encore dans les divers points d'un même dépôt. Elles paraissent former deux classes bien distinctes.

1° Les argiles dans lesquelles l'eau est en partie à l'état de combinaison chimique.

2° Les argiles qui ne contiennent que de l'eau mélangée, dans la proportion de 10 à 12 p. 0/0.

30. Les premières paraissent avoir été le produit d'un dépôt chimique; leur pâte, très-homogène, est translucide sur les bords, surtout dans les fragments minces. On en enlève facilement des espèces de morceaux, comme dans le plomb métallique. Elles sont solubles en entier dans les acides.

moins tenaces. La terre la plus fine ne donne pas de meilleures briques que celle qui est la plus grossière. Dans tous les cas, il convient qu'elle ne renferme pas de substances qui la rende fusible au point que les briques se vitrifient pendant la cuisson.

On doit toujours essayer une argile avant de l'employer en confectionnant quelques briques, pour en reconnaître les qualités et les défauts.

PRÉPARATION DES TERRES.

33. Cette préparation comprend trois opérations principales :

1° L'extraction et le corroyage de la terre ;

2° Le moulage des briques ;

3° Le séchage.

Généralement la terre est extraite avant l'hiver, on lui laisse passer toute cette saison exposée à l'air, en ayant soin de la remuer de temps en temps. Les pluies et la gelée la divisent et la rendent plus propre à être travaillée que celle récemment extraite. Quelques terres ne s'améliorent cependant pas par ce qu'on nomme l'*hivernage*, l'expérience guide les briquetiers à cet égard.

Quand on veut procéder à la fabrication des briques, il faut séparer de la terre les corps étrangers, lui donner du liant, en former une pâte ferme et bien homogène. Dans une briqueterie où l'on cuit cent mille briques à la fois, on doit avoir deux fosses revêtues de maçonnerie en ciment ; l'une carrée de quatre mètres de côté, et de un mètre soixante à un mètre soixante-dix centimètres de profondeur ; l'autre, aussi carrée, mais seulement de deux mètres soixante centimètres de côté, sur un mètre trente à un mètre soixante centimètres de profondeur. On commence par jeter une certaine quantité de terre dans la première fosse, et on l'arrose d'environ moitié de son volume d'eau, plus ou moins, selon l'argile que l'on emploie, alors un ouvrier, appelé *marcheux*, piétine l'argile, en ayant soin de bien diviser toutes les pelotes, de retirer les corps étrangers qu'il sent sous les pieds et de purger le mieux possible la terre des substances pierreuses et pyriteuses qui s'y trouvent souvent mêlées, car ces substances servent de fondant à l'argile, ce qui déforme les briques pendant la cuisson. Si la terre présente trop de résistance aux pieds, l'ouvrier la coupe et la recoupe avec une pelle, puis finit par la jeter dans la seconde fosse, où elle subit encore une opération entièrement semblable.

Le foulage ou corroyage est extrêmement important; fait avec soin et à plusieurs reprises, il ajoute singulièrement à la densité et par conséquent à la bonté de la brique. Des expériences faites avec soin prouvent la vérité de cette assertion. Le temps nécessaire, pour donner ainsi à la pâte de la consistance et de l'homogénéité, est extrêmement variable, et dépend de la nature des terres employées et de la perfection qu'on veut donner aux briques.

L'opération du corroyage, telle que nous venons de la décrire, n'est pas sans inconvénient pour la santé de l'ouvrier qui la pratique, malheureusement l'expérience a démontré qu'il était difficile de remplacer son action intelligente, par celle d'une machine ou le piétinement des animaux.

34. Au moment du moulage, un ouvrier recoupe la terre en motte, qu'il pétrit quelquefois encore avec les mains et la dépose sur l'*établi* où se fait cette opération. L'ouvrier mouleur indique la consistance que doit avoir la pâte, mais comme cette main-d'œuvre est ordinairement payée au mille, on doit prendre garde qu'il ne la demande trop molle afin d'aller plus vite. Les moules sont des chassis rectangulaires, en fer ou en bois, simples ou doubles, ils sont posés sur une table, ou *établi*, saupoudré de sable fin, pour éviter l'adhérence de l'argile; l'ouvrier les remplit exactement de terre, en la foulant avec les mains, puis il polit la surface à l'aide d'un petit outil en bois, nommé *plane*, qu'il replonge chaque fois dans un seau d'eau placé à côté de lui. Sur l'établi se trouvent, également à la portée du mouleur, une petite *bache* appelée *minette*, contenant du sable bien sec, et un petit couteau, appelé *ratissette*, pour nettoyer le moule. Le moulage s'opère avec une grande rapidité. L'ouvrier qui le pratique est uniquement occupé à remplir les moules, qu'un apprenti prépare en les plongeant dans l'eau, puis dans le sable, dont ils demeurent recouverts, et les mettant à portée du mouleur. Ce dernier, à chaque moulage, a soin de jeter du sable sur l'établi, avant de poser un nouveau moule à la place de celui qu'un *porteur* vient d'enlever, en le prenant par les parties saillantes dites *oreilles*, qui ne sont que le prolongement des longs côtés du rectangle. Le porteur transporte le moule dans une position verticale, jusqu'à l'endroit dit *séchoir*, où il dépose la brique molle, c'est une aire bien battue et bien plane, recouverte de sable fin; là, il le renverse à plat, et, en donnant un petit coup sec, il fait détacher la brique des parois, qu'il retire bien verticalement, afin de ne pas en détériorer les côtés.

Toute cette main-d'œuvre se fait fort vite, un ouvrier mou-

leur, avec ses manœuvres, peut fabriquer ordinairement six mille briques par jour, quelquefois, mais rarement, on en rencontre qui atteignent jusqu'à neuf ou dix mille, ils se servent avec avantage du moule double.

35. Les briques ont le plus ordinairement les dimensions suivantes : épaisseur cinq centimètres et demi (0,055); largeur onze centimètres (0,11); longueur, vingt-deux centimètres (0,22). Les dimensions des briques de Bourgogne sont respectivement de 0m.292, 0,100 et 0,054. Le poids du millier est de 2,200 kilog. Les dimensions de celles de Montereau sont les mêmes, sauf que l'épaisseur est moindre de quatre à cinq millimètres; le mille pèse 2,020 kilog. Les dimensions de celles de Sarcelles sont un peu moindres : la longueur est de 0m.209, la largeur de 0,095 et l'épaisseur de 0m.050. Le millier pèse 1,713 kilog.

Enfin la brique de Paris a 0,209, à 0,101 à 0,104 et 0,045 à 0,047 pour dimensions. Le millier pèse 1,894 kilog. Il convient, pour la beauté et la régularité des constructions, qu'elles aient toutes les mêmes dimensions, condition assez difficile à obtenir à cause du retrait qu'elles éprouvent d'abord au séchage, puis à la cuisson. Chaque espèce de terre, suivant qu'elle contient une plus ou moins grande proportion d'alumine, éprouve plus ou moins de retrait; et il est encore modifié par la préparation et par l'état de la pâte employée. Lorsqu'elle est peu compacte, on doit donner au moule des dimensions plus grandes que lorsqu'on se sert d'une argile plus ferme qui fournit toujours les briques les plus solides et les plus tenaces. Dans tous les cas, l'expérience indique les dimensions à donner aux moules.

SÉCHAGE DES BRIQUES.

36. Nous avons déjà dit qu'au sortir du moule, on déposait la brique sur une aire plane bien sablée, et qu'on jetait dessus en même temps un peu de sable afin d'empêcher les gerçures; au bout de deux ou trois jours, on les relève, sans leur faire perdre terre, et on les met de *champ*, on les *pare*, en relevant les bavures afin de rendre les arêtes plus vives et plus régulières. Dans le premier séchage préparatoire, la brique perd une grande partie de son humidité, et prend déjà assez de consistance pour qu'on n'y puisse pas enfoncer le doigt. Il est important que pendant cette première opération, le soleil ne soit pas trop vif, ce qui ne manquerait pas de produire des gerçures, ni que le temps ne soit pas trop

humide, ce qui délayerait l'argile. Quand on craint la pluie, on couvre de paillassons l'aire de séchage.

Quand on peut les transporter, on les place sous des halles ou hangars, afin de compléter la dessiccation ; là on les arrange de manière à ce que l'air puisse circuler librement autour de chacune d'elles. Si la fabrication se fait très en grand, il serait dispendieux d'avoir des hangars, alors on forme avec des briques des espèces de murs de 1 mètre à 1m.50 de hauteur, sur environ quatre briques d'épaisseur, que l'on recouvre ensuite avec de la paille. Il faut, pour arranger ainsi les briques de la manière la plus favorable à la dessiccation, et obtenir en même temps une certaine solidité pour les murs ou *haies* qu'elles forment, des ouvriers exercés et intelligents. Il faut environ un mois pour obtenir de cette manière une dessiccation convenable.

Dans quelques pays, après le séchage sur l'aire, on porte les briques sur un établi, et on les bat avec des *battes* plus longues et plus larges qu'elles, puis on les place dans un moule qui sert de calibre, en les battant de la même manière.

Cette dernière méthode a reçu un perfectionnement qui donne de très-bons résultats, mais qui augmente d'environ 4 francs par mille le prix de la main-d'œuvre, il consiste à soumettre la brique à une pression très-forte ; après qu'elle a subi la première dessiccation, on la place dans un moule en fonte plus petit, et on la frappe d'un coup de balancier. Cette percussion fait sortir l'eau, resserre l'argile et rend la brique d'un grain plus fin ; on peut la porter immédiatement après à la cuisson.

DE LA CUISSON DE LA BRIQUE.

37. On obtient par le séchage une certaine consistance, mais pas assez forte pour qu'elle résiste aux intempéries des saisons. Des briques seulement séchées peuvent être cependant employées à couvert, pour des ouvrages grossiers ; mais lorsqu'on veut les employer à des constructions durables et exposées à la pluie, on n'obtient le degré de consistance, de cohésion et de tenacité nécessaires à cet effet, que par la cuisson.

Cette opération, telle qu'on l'exécute en grand, présente quelques difficultés : si on les soumet à une chaleur trop forte, les briques éprouvent un commencement de fusion ou de vitrification ; elles deviennent cassantes, leur surface unie et sans pores ne présente plus la multitude de petites aspé-

rités nécessaires pour que le mortier y adhère fortement. Si le feu n'a pas été assez vif, la brique conserve en partie les qualités défectueuses de l'argile seulement desséchée; elle reste perméable à l'eau, elle ne peut résister à la gelée, elle n'a pas toute la résistance que lui aurait donnée une chaleur convenable.

On suit deux méthodes principales dans la cuisson des briques en grand. Celle qui s'opère dans les fours et celle qui a lieu en plein air, en formant de grands tas de briques, avec lesquels on mélange du charbon de terre ou du coke.

Les fours, dans lesquels on met la brique, se composent du foyer et du four proprement dit, capacité plus ou moins grande, destinée à recevoir les briques, au nombre de dix mille, de cinquante mille et quelquefois même de cent mille. Pour cinquante milliers, un four de 7 mètres de long sur 6 mètres de largeur, et une hauteur de $1^m.60$ à $1^m.70$, est suffisant. Deux voûtes à jour composées d'arceaux, laissant des vides entre eux, élevées de $1^m.20$, régnant sur la longueur, composent le foyer; au-dessus on range les briques sèches, de champ et dans le sens de la longueur pour le premier lit, dans celui de la largeur pour le second, et ainsi de suite, en alternant, de manière que les lits successifs soient perpendiculaires entre eux; on laisse du jour entre les briques pour permettre la libre circulation de la flamme et de l'air chaud, qui doit produire l'échauffement et la cuisson définitive. On ménage en outre, dans le tas, divers arceaux et cheminées pour déterminer un tirage assez vif et un échauffement sensiblement uniforme. Cet arrangement est fort important, en raison de la distribution de la chaleur, sans laquelle on ne peut espérer d'obtenir l'égalité de cuisson, si nécessaire pour avoir de bonnes briques. L'art du briquetier consiste en partie dans le plus ou moins de perfection de ces dispositions.

Quand tout le travail préparatoire est terminé, on allume le feu dans le foyer avec des fagots ou du bois de corde. Il doit être faible en commençant, augmenter graduellement jusqu'à ce que la masse soit échauffée, ce qui demande ordinairement trois ou quatre jours. Alors, on chauffe plus fortement, de manière à opérer la cuisson proprement dite. Dans les fours ordinaires, elle dure environ huit jours, et dans ceux de grande dimension, quinze et vingt jours, quelquefois plus. Quand le four contient deux ou trois cent milliers de briques, il faut environ cinq à six semaines, tant pour l'arrangement que pour la cuisson et le refroidissement.

Quand on juge que le feu a produit tout l'effet nécessaire,

on couvre, à l'extérieur, l'amas de briques avec d'autres briques déjà cuites, afin de conserver la chaleur et ralentir le refroidissement, qui dure cinq à six jours. Dans le même but, on bouche avec de l'argile toutes les ouvertures qui pourraient donner issue au calorique.

Dans quelques localités, entre autres en Hollande et en Saxe, on cuit les briques avec de la tourbe. Les fours ont deux foyers garnis chacun d'une grille sur laquelle ont met le combustible; ils sont fermés en dessus par une voûte, élevée d'environ 3 mètres au-dessus de la sole, sur laquelle reposent les briques, et percée de plusieurs ouvertures pour le tirage et le dégagement des vapeurs. On range régulièrement les briques sèches au-dessus de chaque grille, en en formant d'abord une petite voûte, puis les posant ainsi que nous l'avons indiqué. L'ouvrier qui dirige la cuisson, conduit le feu et règle la chaleur, soit à l'aide des portes des cendriers au-dessous des grilles, soit au moyen des ouvertures du dôme qu'il fait fermer avec des briques, ou transformer en petites cheminées en élevant au-dessus un conduit vertical en briques. Dans les fours qui contiennent habituellement cinq à six milliers, la consommation en tourbe est d'environ $1^{m}.80$, ou 30 centimètres par millier; en bois, elle est à peu près de 20 centimètres; elle paraît diminuer beaucoup pour les fours de plus grande dimension.

Il est rare d'obtenir une cuisson parfaitement uniforme, quelles que soient les précautions prises et l'expérience du briquetier. Les briques les mieux cuites sont au milieu du four, sur environ un tiers de sa hauteur; elles se vendent comme de première qualité, au prix d'environ 30 à 34 fr. le mille; des autres, on forme encore deux choix, qui se vendent 25 et 20 francs. Les prix sont, d'ailleurs, variables suivant la cherté du combustible.

Dans le nord de la France, en Belgique et en Angleterre, où le bois est fort cher, et la houille, au contraire, à bon marché, on emploie ce dernier combustible à la cuisson des briques. Cette cuisson s'opère en plein air, partout où l'on trouve de la terre propre à la fabrication et où l'on a besoin de briques. On peut dire que cette méthode est la seule qui puisse fournir à une grande consommation; ici la capacité des fours ne vient pas limiter la fabrication: on fait les tas plus ou moins grands, suivant les besoins; il y en a qui contiennent jusqu'à cinq cents milliers de briques.

Quand on veut suivre cette méthode, on prépare une aire rectangulaire de 8 à 20 mètres de longueur sur 6 à 15 mètres de largeur, suivant le nombre de briques à cuire; on la

met bien de niveau et on la garantit des pluies par un fossé ouvert tout autour; on la partage en bandes longitudinales de toute la longueur de l'aire, et de 30 à 35 centimètres de largeur. Sur chaque ligne de division on élève un petit mur de briques et on recouvre les vides qu'ils laissent entre eux, de petites voûtes à jour, construites également en briques cuites, après les avoir remplies de fagots ou bourrées pour allumer le feu. On range ensuite les briques séchées de champ et par lits successifs, de manière que celles du lit supérieur soient perpendiculaires à celles du lit immédiatement au-dessous; on laisse entre les briques un petit intervalle de quelques millimètres seulement, et de deux en deux ou de trois en trois lits de briques, on répand une couche de houille menue et moyenne, peu ou point collante, de 2 à 3 centimètres d'épaisseur. Lorsque le tas est ainsi élevé à un mètre, on met le feu, que l'on règle en bouchant plus ou moins les ouvertures des petites voûtes sur lesquelles repose tout le tas. Quand la chaleur se fait sentir à la surface supérieure, et que l'on juge que les briques ont atteint un degré de dessiccation assez grand pour qu'elles puissent supporter une plus grande charge, on continue de placer successivement des couches de briques ou de charbon, jusqu'à une hauteur qui atteint quelquefois 6 à 7 mètres. La combustion se communique facilement d'une couche à une autre, et généralement aussi vite que les ouvriers peuvent élever le tas; on fait toujours en sorte que la chaleur à la surface soit la plus forte possible, sans trop incommoder les travailleurs qui placent les briques et le charbon.

Afin d'être maître du feu, et de pouvoir le diriger, on réserve dans l'intérieur du tas, et de mètre en mètre environ, des conduits verticaux, établissant le tirage et faisant office de cheminée. Pendant la cuisson on revêt les parois verticales du tas d'une couche d'argile pour empêcher l'accès de l'air. Quand l'amas de brique ainsi formé, qu'on nomme *briqueterie*, a atteint sa hauteur, ce qui demande environ quinze jours, on jette par dessus une couche de terre de dix centimètres, afin de concentrer la chaleur et de ralentir la combustion, et l'activer au besoin en pratiquant des ouvertures dans cette couche.

La chaleur se conserve dans le tas longtemps après que la houille est entièrement consumée; on ne peut défourner que cinq ou six semaines après. Les vents et la pluie contrarient souvent la conduite du feu, qui est extrêmement difficile, et on s'en garantit en partie à l'aide de paillassons dont on abrite la briqueterie; mais quoi qu'on fasse, il est rare

d'arriver à une réussite parfaite; quelquefois des portions entières du tas ne sont que mal cuites, d'autres sont vitrifiées; dans tous les cas, les produits sont moins beaux et moins réguliers que par la cuisson au bois; leur avantage est de coûter moins cher. Dans le département du Nord, le millier de briques à la houille ne vaut guère que onze à douze francs.

Les enfoncements qui se produisent dans les briqueteries sont cause qu'on en retire un grand nombre de briques cassées. Cette seule cause élève le déchet à environ un dixième de la totalité, et si l'on y ajoute la mauvaise cuisson, on doit compter qu'il sera d'environ un sixième.

Généralement la consommation de houille varie de 2 hectolitres à 2 hectolitres 1/2 par millier de briques. Dans le département du Nord, on calcule qu'il faut par cent milliers de briques, 100 hectolitres de 110 kilogrammes, de menu charbon, 45 hectolitres de charbon en morceaux, 35 fagots et 4 stères de bois.

La brique bien choisie est d'un excellent usage; dans un grand nombre de constructions, elle remplace le moellon et supplée la pierre de taille. Elle est indispensable pour les fourneaux, pour les cheminées et les fours, quand on ne trouve point de pierres réfractaires. Dans les pays chauds on employait autrefois beaucoup de briques crues composées d'argile à laquelle on mélangeait de la paille hachée très-fin. Il fallait plusieurs années pour atteindre un degré de siccité suffisant avant la mise en œuvre. Dans les pays humides, cette composition ne résisterait pas bien; on pourrait cependant la garantir par un bon enduit de mortier, et une construction faite avec des briques de cette nature vaudrait bien les torchis ou mélange de terre broyée avec de la paille ou du foin dont on se sert dans les départements de l'Oise, de la Somme et de l'Aisne. Le mille de briques crues, bien sèches, ne reviendrait pas à plus de six francs.

Les anciens paraissent s'être servis aussi de briques en mortier composées de pâte de chaux éteinte broyée avec du sable fin ou de la poussière de pierre tendre. On moule ce mélange amené à consistance convenable comme les briques ordinaires, et on les fait ensuite sécher sous des hangars. En deux ans elles prennent une dureté comparable à celle des pierres tendres.

Le pisé est encore une manière fort économique de construire en terre. Mais comme ces divers modes de construction ne peuvent trouver d'application dans les travaux publics, nous ne nous y arrêterons pas plus longtemps.

CHAPITRE II.

Des Bois en général.

Nous n'avons à nous occuper que du tronc de l'arbre, la seule partie employée dans les constructions, il se compose de l'écorce, de l'aubier et des fibres ligneuses qui réunies, pour ainsi dire, en faisceau, forment le bois proprement dit.

L'écorce comprend différentes couches; celle de l'extérieur se nomme *épiderme*, celle de l'intérieur, qui touche à l'aubier, se nomme *liber*.

L'aubier est une couronne de bois encore imparfait qui enveloppe le *cœur* de l'arbre.

Le cœur de bois est composé de couches concentriques, de fibres ligneuses longitudinales, reliées par des fibres transversales.

38. Les bois, relativement à leur usage dans les constructions, se divisent en bois de *charpente*, de *menuiserie* et de *placage*. Quelquefois on les comprend sous la désignation générale de *bois d'œuvre*, pour les distinguer des *bois de chauffage*. On divise alors le *bois d'œuvre* en :

1° *Bois de service* qui comprennent les bois de construtions civiles et navales;

2° *Bois de travail* ou *d'ouvrage*, comprenant les bois employés par différents métiers tels que la menuiserie, l'ébénisterie, le charronnage, la tonnellerie, la fabrication des sabots, etc.

Parmi les bois de travail, on distingue les *bois de fente*; on nomme ainsi ceux dont l'emploi exige le procédé de la fente. Tels sont les douves de tonneaux, de cuves, etc.; les échalas, les lattes, les planchettes très-minces, dont on se sert pour les boisseaux et autres mesures. Le bois de fente sert encore à faire des panneaux de soufflet, des pelles en bois, des attelles de collier, des bâts, des arçons de selle et des rames, etc.

Pour qu'un bois puisse servir à la fente, il faut qu'il ait une texture égale, que ses fibres longitudinales soient parfaitement droites, apposées régulièrement les unes contre les autres, et qu'il soit exempt de nœuds et de tout autre accident de croissance.

On appelle *bois merrain*, le bois de fente destiné plus particulièrement à la fabrication des douves.

Les bois employés le plus généralement pour les charpentes sont le chêne et le sapin; on se sert quelquefois aussi de l'orme, du hêtre, du charme, du châtaignier, du tilleul, du peuplier, etc.; mais ces essences ne présentent pas les mêmes avantages que les deux premières.

DU CHÊNE.

39. Cet arbre est, sous le rapport de sa force et des différents emplois auxquels son bois est propre, supérieur à tous les autres. Sa croissance est assez lente, mais assez égale jusqu'à l'âge de 180 et même de 200 ans. Le chêne vit quatre, cinq et six siècles; il s'élève à trente-trois mètres et au-delà et parvient à une grosseur considérable. On en cite qui ont atteint jusqu'à trois mètres de diamètre au pied. Ce bois est dur, il résiste mieux que tout autre à l'action des forces qui tendent à le rompre, et aux intempéries de l'air. Moins sujet que les autres à se pourrir par suite des alternatives de l'humidité et de la sécheresse, il se conserve plus longtemps en bon état. Entièrement à l'abri de l'humidité ou complètement plongé dans l'eau, il a une durée, pour ainsi dire, infinie, il acquiert même, dans ces circonstances, une dureté tellement grande qu'il n'est presque plus possible de le travailler avec les outils. Ce fait a été observé plusieurs fois sur des pilots trouvés en démolissant des ouvrages bâtis dans des temps fort reculés. Le chêne est beaucoup employé dans la marine; à l'exception des mâts, il sert à peu près à toutes les parties dont un vaisseau est composé. Il y a trois espèces de chêne : le blanc, le noir et le vert. Les deux premières espèces croissent souvent ensemble dans une même forêt; on ne les distingue bien qu'à l'écorce dont l'une est lisse et blanche, l'autre rude et obscure; le chêne vert ne se rencontre guère que dans le midi de la France. Le chêne blanc est l'espèce préférable à employer pour toutes les constructions, surtout pour la menuiserie, sa feuille est longue, étroite, profondément découpée, son bois est couleur jaune paille. Le chêne noir, quoique inférieur au précédent, n'en diffère que très-peu. La troisième espèce n'est guère employée que pour le chauffage.

DU SAPIN.

40. Cet arbre donne un bois résineux, il croît d'abord très-lentement, mais quand il a acquis un peu de force, il

s'élance avec rapidité et parvient souvent à une hauteur de quarante à quarante-cinq mètres. On a coupé des sapins qui avaient atteint l'âge de trois cents ans sans dépérir et qui présentaient de six à neuf mètres de tour à la base. On fait avec le sapin de très-bonnes charpentes, et, placé en travers, cet arbre résiste aussi bien à sec et se tourmente moins que le chêne. Il a sur cette dernière essence l'avantage d'être plus léger et de se conserver parfaitement quand il est couvert de plâtre. On distingue deux espèces de sapin, le sapin ordinaire et le sapin rouge. Le dernier est préféré parce qu'il ne casse pas aussi aisément que le premier. Ce bois se conserve bien dans l'eau, aussi l'emploie-t-on assez souvent pour des palplanches. Dans les bâtiments, il est sujet à s'échauffer et à engendrer des vers qui le détruisent. On le débite en planches dont on fait un commerce très-considérable. Les sapins des Vosges et du Jura se transportent à plus de cent lieues.

DE L'ORME.

41. L'orme croît promptement; il s'élève à une très-grande hauteur et prend une grosseur considérable. Il vit pendant plusieurs siècles. Une grande quantité d'ormes, plantés sous le ministère de Sully, existent encore et sont en bon état de croissance. Le bois d'orme est très-dur; on peut l'employer à la charpente, quoiqu'il soit, pour cet usage, inférieur au chêne. C'est un bois très-fort qu'on emploie pour les ouvrages qui exigent de la solidité et du soin. Ce bois se travaille bien et n'est point sujet à éclater. L'orme mâle vaut mieux que l'orme femelle, il a la feuille petite et rude.

DU HÊTRE.

42. Le hêtre est une des essences les plus répandues dans les forêts; sa croissance, dans les quinze premières années, est fort lente, mais aussitôt qu'il a pris un peu de consistance, il devient robuste, et s'élance avec assez de rapidité. Il s'élève quelquefois à plus de quarante mètres et prend jusqu'à un mètre et un mètre 50 centimètres de diamètre à la base; dans certains cas, il prospère jusqu'à trois cents ans. Ce bois est peu propre à la charpente, il ne résiste ni à l'humidité ni aux variations de l'atmosphère. C'est un des meilleurs bois de fente, il est employé par les menuisiers, les ébénistes, les charrons, les carrossiers, les tourneurs, les boisseliers, etc. On ne peut le fendre que lorsqu'il est vert, et pour l'employer, on doit attendre qu'il soit complètement sec, sinon il prend un retrait considérable.

DU CHARME.

43. Le charme croît à peu près comme le hêtre jusqu'à l'âge de trente à quarante ans; mais, après cette époque, il est d'ordinaire dépassé par ce dernier. Son accroissement ne commence à se ralentir cependant que de 70 à 80 ans, et on le voit végéter en très-bon état jusqu'à 130 et même 150 ans. Ce bois est d'une dureté très-égale, il est très-tenace et sa fibre est coriace. On l'emploie peu à la charpente, parce qu'il résiste mal à l'humidité et aux variations de l'atmosphère, et que, d'ailleurs, ses dimensions en hauteur et en grosseur sont rarement convenables pour cet usage. Cet arbre n'est presque jamais rond comme les autres, des cannelures nombreuses et profondes rendent son équarrissage presque toujours impossible. Il est employé surtout par les charrons, par les mécaniciens, pour des roues d'engrenage, des leviers et différents instruments aratoires, et en général pour toute espèce de pièces exposées à un frottement continu ou à une forte pression.

DU CHATAIGNIER.

44. La croissance du chataignier est très-rapide dès sa jeunesse et se soutient fort longtemps; à l'âge de 60 à 70 ans, ses dimensions égalent déjà celles du chêne de 140 à 160 ans. Il existe, près du mont Etna en Sicile, un châtaignier dont le tronc, entièrement creux à la vérité, a une circonférence de cinquante mètres, on ignore entièrement son âge. D'autres châtaigniers, moins vieux, ont été mesurés à la grosseur de dix ou quinze mètres. Le châtaignier offrirait un bois très-propre à la charpente et on l'employait beaucoup autrefois dans les grandes constructions, mais on a reconnu qu'il se pourrissait, quand il était encastré dans la maçonnerie, comme il arrive aux extrémités des poutres. Quoique plus léger que le chêne, il a presque autant de force.

DU TILLEUL.

45. Dans sa jeunesse, le tilleul croît avec rapidité; à l'âge de 80 à 100 ans, il a atteint une hauteur de vingt à trente mètres sur près d'un mètre de diamètre à la base. Passé cet âge, il augmente encore de grosseur, mais il commence ordinairement à se creuser dans le centre. On porte l'âge de certains tilleuls jusqu'à cinq cents ans et plus; quelques-uns présentent jusqu'à 10, 12 et 13 mètres à la base. Ce bois est

peu propre à la charpente, on l'emploie principalement dans la menuiserie, l'ébénisterie et même la sculpture. Il est tendre, blanc, d'un grain égal et fin ; il ne se gerce et ne se tourmente point et n'est pas sujet à la vermoulure.

DU PEUPLIER.

46. La seule espèce des peupliers que l'on cultive dans les forêts est le peuplier-tremble, sa croissance est des plus rapides. A l'âge de cinquante à soixante ans, il acquiert une hauteur de vingt-cinq à trente mètres sur près d'un mètre de diamètre au pied. Passé cet âge, il se pourrit à l'intérieur et quelquefois même plus tôt, quand il se trouve dans un sol humide. Ce bois est très-tendre, blanc et chargé d'humidité, ce qui fait qu'il prend beaucoup de retrait. Lorsqu'il est abrité, il peut servir à la charpente ; il est employé à la menuiserie, à la sculpture, à l'ébénisterie, etc. On en fait beaucoup de voliges ou planches très-minces, dont on se sert pour l'intérieur des meubles et pour les caisses d'emballage.

47. On peut juger, jusqu'à un certain point, de la qualité du bois par la nature du terrain où il a crû. Celui qui vient dans un terrain aride, pierreux ou sablonneux, est ordinairement d'un fort bon emploi ; celui qui a poussé dans un lieu bas et aquatique, n'est pas d'aussi bonne qualité ; il est plus tendre et moins propre à soutenir les grands fardeaux. Si les ouvriers préfèrent souvent ces derniers, c'est dans leur seul intérêt et par le seul motif qu'ils se travaillent plus facilement, tandis que les autres, par leur dureté, émoussent les outils et demandent plus de main-d'œuvre.

L'exposition paraît aussi avoir un peu d'influence sur la qualité des bois, celle du couchant semble être la moins avantageuse pour obtenir du bois de qualité supérieure. L'aubier des bois venus dans cette exposition est plus épais que celui de ceux qui ont crû dans une autre.

On nomme aubier la partie tendre des fibres qui se trouvent sous l'écorce ; c'est un anneau de bois qui n'est pas encore mûr ; l'aubier qui se forme chaque année est recouvert l'année suivante, par une formation nouvelle et il prend peu à peu la consistance et la force que l'on trouve dans le cœur de l'arbre.

Cette partie de l'arbre, comme toutes celles qui n'ont pas atteint le degré de maturité, se pourrit plus facilement que le reste, et doit être enlevée, quand on emploie le bois aux charpentes.

Une circonstance qui semble encore donner aux bois plus

de dureté et de force, est de croître éloignés les uns des autres, d'être exposés à la violence des vents comme ceux qui viennent sur la rive des forêts.

48. Les qualités que l'on doit rechercher en général dans les bois, sont d'être bien sains, d'avoir un droit fil, de la force, de l'élasticité et de la durée, de n'être point roulés, rabougris ou gélifs et de n'avoir ni fentes ni gerçures, en un mot, d'être exempts de tous défauts.

Les défauts les plus marquants, dans les bois de construction, sont les gouttières, les chancres, les roulures, les abreuvoirs et les gelivures.

La gouttière est occasionnée par le dessèchement ou la pourriture d'une ou de plusieurs branches de la cime, ce qui favorise l'infiltration des eaux pluviales dans le tronc de l'arbre. Quelquefois les eaux finissent par suinter à travers l'écorce du tronc, alors la gouttière est apparente.

Le chancre est une espèce d'ulcère d'où s'écoule, en toute saison, une liqueur roussâtre, âcre et corrompue. Cette maladie est souvent causée par une contusion ou par un coup de soleil.

Un bois est roulé lorsque, dans son intérieur, il y a solution de continuité entre deux couches concentriques contiguës, de manière qu'elles ne soient point adhérentes. Quelquefois la roulure ne s'étend que sur une longueur de quelques centimètres, mais souvent elle embrasse toute la circonférence et présente alors un cylindre creux de bois vif qui en renferme un plein de bois mort que l'on peut en faire sortir.

On attribue la roulure principalement aux efforts des vents qui tourmentent et plient les jeunes tiges en tous sens, dans le temps de sève, au point de disjoindre les couches ligneuses. Ce défaut peut encore être occasionné par le poids de la neige ou du givre, ou par des blessures provenant de causes quelconques.

Les *abreuvoirs* sont des espèces de gouttières qui se forment aux aisselles des branches, lorsque celles-ci, par les grands vents ou par le poids du givre ou de la neige, se détachent partiellement du tronc. La blessure, tout en se cicatrisant, présente alors un creux dans lequel les eaux s'amassent et d'où elles finissent par s'infiltrer dans l'intérieur de l'arbre.

La *gelivure* est produite par l'effet de la gelée sur le tronc de l'arbre. Elle consiste ordinairement en une crevasse longitudinale dont la matrice forme extérieurement un bourrelet qui reste toujours visible, et, à l'intérieur, une fente qui rend le bois plus ou moins impropre à l'usage auquel il est destiné.

49. L'âge le plus convenable pour abattre le chêne, est d'environ cent ans. Avant soixante ans, il est trop jeune et n'a point atteint toute sa force; passé deux cents ans, il dépérit et n'a pas une aussi longue durée dans la construction. Après cent ans les arbres ne croissent plus en hauteur, mais seulement en grosseur, comme on peut s'en convaincre quand ils sont abattus. On reconnaît l'âge d'un arbre par le nombre d'anneaux concentriques, qui vont du centre à la circonférence et qui marquent assez distinctement le nombre de croissances, et par conséquent celui des années.

Les arbres doivent être abattus du mois d'octobre au mois de mars, parce qu'alors la sève n'est pas en action, et les pores sont plus resserrés. Quand on veut apporter dans l'abattage, tous les soins nécessaires, quelques constructeurs recommandent d'abord de les couper au pied tout autour, jusqu'à la moitié du cœur, puis de les laisser ainsi quelque temps, afin que la sève, coulant par cette entaille au travers de l'aubier, ne se corrompe pas dans le bois.

Le plus souvent on achète les bois abattus, alors on doit les examiner avec soin, afin de reconnaître s'ils n'ont point de nœuds vicieux, c'est-à-dire des parties pourries qui pénètrent jusque dans l'intérieur du cœur; s'ils ne sont point roulés, étoilés, gélifs, etc. Il est bon également de chercher à savoir dans quelle espèce de terrain ils ont crû. Bélidor dit qu'en répandant sur un des bouts de l'arbre, de l'huile d'olive bien chaude elle grésillera si l'arbre est venu dans un terrain marecageux, elle ne s'imbibera pas entièrement partout; si l'arbre est venu dans un terrain doux, il en restera vers les bords; au contraire, s'il a crû dans un lieu sec, et s'il a été coupé dans le temps où la sève ne monte pas, l'huile s'y imbibera tout entière, et sèchera sur le champ. Si l'on peut faire cette reconnaissance, on aura soin de ne pas prendre le bois qui aurait crû dans un lieu humide et marécageux, pour l'employer aux intempéries de l'air, parce qu'il s'y pourrirait en peu de temps. On doit également éviter de mettre les bois au grand soleil, la chaleur les fait fendre promptement. Il est vrai que les entrepreneurs ou ouvriers ne manquent pas de donner ces fentes comme une preuve de la force du bois, tandis que ce n'est que l'indice d'une nature tendre et humide. Il est rare que l'on soit à même de choisir les bois nécessaires à une construction parmi un grand nombre de pièces, aussi est-on obligé de passer par-dessus bien de petits défauts, et de ne refuser que ceux qui ont pour ainsi dire des vices rédhibitoires, alors on doit chercher à mettre les meilleures qualités dans les parties de la construc-

tion, dont les pièces ne peuvent être remplacées facilement, et sans les démonter presqu'entièrement.

50. Les défauts apparents sont toujours faciles à apercevoir, mais il arrive quelquefois qu'une poutre parfaitement équarrie présente tous les indices d'une bonne qualité de bois, et que cependant le cœur en est pourri. On peut avoir quelques notions sur l'état de l'intérieur à l'aide de petites vrilles, ou encore en frappant à une extrémité et écoutant le son que rend la pièce à l'autre; si ce son est clair, c'est l'indice que ce bois est bon; s'il est sourd et cassé, cela prouve qu'il est gâté.

Il est bon de n'employer les bois qu'un an après qu'ils ont été abattus, et de les conserver pendant ce temps sous des abris. Si on est obligé d'employer du bois vert, il est avantageux de le plonger, pendant quelques mois, dans l'eau. Elle dissout la sève et le bois se sèche plus facilement et se trouve moins sujet à la pourriture.

Tous les bois, au moment de l'abattage, contiennent une quantité d'eau considérable, qu'ils perdent peu à peu en séchant. M. d'Aubuisson donne, d'après M. Fonque, la table suivante qui montre la manière graduelle dont se fait cette déperdition. Les expériences ont été faites sur des bois des Pyrénées en cubes d'un centimètre de côté.

Après la Coupe.	Chêne	Hêtre.	Frêne.	Noyer.	Cerisier	Aulne	Peuplier.
0.	1k18	1.18	0.94	0.96	0.92	0.95	0.92
Un mois. . .	1.10	0.95	0.93	0.80	0.85	0.73	0.70
Deux mois. .	1.00	0.86	0.89	0.72	0.79	0.63	0.60
Trois mois. .	0.94	0.80	0.82	0.67	0.72	0.56	0.49
Quatre mois.	0.92	0.77	0.80	0.67	0.71	0.55	0.48
Six mois. . .	0.88	0.76	0.77	0.65	0.69	0.55	0.48
Huit mois. .	0.85	0.75	0.77	0.66	0.68	0.55	0.45
Un an. . . .	0.84	0.74	0.76	0.66	0.67	0.55	0.47
Quatre ans. .	0.83	0.73	0.75	0.65	0.66	0.54	0.46
Six ans. . .	0.83	0.74	0.74	0.65	0.65	0.54	0.47

On voit qu'après un an ces bois ont atteint à très-peu près le plus grand degré de siccité. Il est à remarquer que dans les saisons humides, ils reprennent une partie de l'eau hygrométrique abandonnée dans les saisons sèches. La diffé-

rence de poids des charpentes de l'un de ces extrêmes à peut être de 0,05 au moins.

L'aubier, ainsi que nous l'avons déjà dit, est la couche extérieure qui n'a pas encore acquis beaucoup de consistance, on lui en donne un peu en écorçant les arbres sur pied; quand on a eu cette précaution, on peut à la rigueur se dispenser de le faire disparaître, mais dans le cas contraire, on doit avoir grand soin de l'enlever, car il est une cause inévitable de détérioration, non-seulement pour les parties en aubier, mais pour toute la pièce. L'humidité le pénètre facilement et il s'y engendre des vers.

Le bois est sujet à s'échauffer, par les alternatives de sécheresse et d'humidité, il se manifeste alors à la surface des taches blanches, noires et rousses, qui le font paraître pourri. Un bois sain, mis en contact avec un bois avarié, participe bientôt aux défauts de celui-ci, aussi doit-on avoir soin, dans l'emploi, qu'il ne touche rien qui puissent l'endommager. Ainsi les pièces considérables, comme les poutres, doivent être garanties du mortier et du plâtre, parce que ces matières les échauffent. C'est pour éviter cet inconvénient que l'on fait brûler quelquefois les abouts des poutres, la couche de charbon qui les recouvre, garantit les fibres ligneuses du contact qui pourrait les échauffer. On charbonne quelquefois aussi les bois qui doivent être enterrés ou plongés sous l'eau, afin d'éviter les vers. En Hollande, on y enfonce des clous à large tête et presque jointifs, afin d'éviter le même inconvénient.

M. le docteur Boucherie s'est beaucoup occupé de la conservation des bois; les procédés qu'il emploie sont entièrement nouveaux et constituent une belle et importante découverte dont il s'est réservé les droits. Elle consiste à injecter dans les vaisseaux séveux des dissolutions salines destinées à rendre les bois plus durs, plus compactes et plus indestructibles, à augmenter leur densité, à les imprégner de teintes déterminées et même à les rendre jusqu'à un certain point incombustibles. Cette pénétration ou imbibition des bois s'obtient de deux manières : par le mouvement séveux ou par la pression.

L'imbibition par le mouvement séveux s'obtient en pratiquant vers le bas de l'arbre, encore sur place, un réservoir que l'on remplit de dissolutions salines et que l'on met en communication avec l'aubier et le cœur du bois. M. Gueymard, ingénieur en chef au corps royal des mines, qui s'est beaucoup occupé des procédés de M. Boucherie, et a entrepris à ce sujet une série d'expériences utiles et curieuses, emploie un autre moyen pour mettre à profit la force ascensionnelle

du mouvement séveux : à quarante centimètres au-dessus du sol, il pratique dans le tronc de l'arbre des trous de tarière de 0,045 de diamètre, espacés de dix à quinze centimètres de centre en centre, inclinés à 46° vers l'axe de l'arbre où ils vont tous concourir et communiquer. L'une ou l'autre de ces dispositions adoptée, on vide dans le réservoir ou dans les trous le liquide que l'on désire introduire dans les vaisseaux séveux et qui s'y trouve en effet entraîné en plus ou moins grande quantité par la sève ascendante.

L'imbibition par pression s'obtient en enveloppant la base de l'arbre abattu d'une calotte de plomb destinée à servir de réservoir aux dissolutions. M. Gueymard adapte à cette calotte un tube droit ou recourbé suivant le besoin, ayant un mètre de hauteur, qui sert à établir une pression mesurée par cette colonne de liquide, si l'on a soin d'entretenir le tube constamment plein de dissolution.

Les dissolutions salines employées seules ou deux à deux, sont : le pyrolignite, le protosulfate et le sulfate de fer, le sulfate de cuivre, les sels solubles de plomb, les sulfates de soude et de potasse, le prussiate ferrugineux de potasse, l'alun, l'hydrochlorate de chaux. Ces dissolutions donnent toutes une plus grande dureté au bois et doivent par conséquent en prolonger la durée, il ne faudrait pas en conclure qu'elles en augmentent aussi la résistance à la rupture, il paraîtrait au contraire que le pyrolignite de fer la diminue un peu. Quelques-unes de ces substances colorent le bois en même temps qu'elles le durcissent et lui donnent ainsi un nouveau degré d'utilité pour l'ébénisterie.

Ainsi, le pyrolignite de fer donne une teinte d'un gris noir qui, nuancé par les veines du bois qui ne se chargent pas également du principe colorant, est d'un bel effet ; le sulfate de cuivre donne des teintes vertes ; le prussiate ferrugineux de potasse employé avec le protosufalte de fer a donné un beau bleu foncé.

On n'a jusqu'à présent obtenu de coloration que par les substances inorganiques ; les teintures de bois de Campêche, de Brésil, de Sandal, de même que la Garance ne colorent pas, bien qu'elles soient facilement absorbées.

Aux dissolutions salines que nous venons d'énumérer, il faut ajouter le chlorure de calcium et le sous-carbonate de soude que nous avons séparées du premier groupe ; parce qu'elles méritent de fixer l'attention ; le chlorure de calcium paraît conserver au bois son élasticité, mais il doit surtout une mention particulière à ce qu'il sert à préparer les voies aux autres dissolutions et à les leur rendre plus faciles, en

chassant la sève des vaisseaux qui la contiennent. Quant au sous-carbonate de soude, il jouit de la propriété de décomposer le sulfate de fer, de cuivre, l'alun, les sels solubles de plomb, et si on l'introduit après ces dissolutions, il se forme dans les vaisseaux du bois, occupés d'abord par la sève, des carbonates de chaux, de fer, de cuivre, de plomb, d'alumine. Ces substances, solides, pierreuses ou métalliques, font pour ainsi dire passer en quelques instants le bois à un état fossile qui doit en prolonger l'existence.

Jusqu'à présent on n'est pas parvenu à imbiber tous les arbres avec un égal succès. Quelques-uns même paraissent entièrement réfractaires, tels que le cerisier, le frêne, le peuplier et le tremble, d'autres ne se laissent pénétrer que dans l'aubier, tels que le chêne et le noyer; mais, réduite même à ces résultats, l'invention de M. Boucherie aurait encore une grande importance. Ne serait-ce donc pas beaucoup que de pouvoir donner à l'aubier du chêne la même durée qu'au cœur. Du reste, la découverte est faite, espérons que les perfectionneurs ne feront pas défaut. Enfin, parmi les essences essayées, on peut citer comme se pénétrant bien dans le cœur et dans l'aubier, le platane, le tilleul, le charme, le hêtre, le saule, le peuplier ordinaire, l'orme, le poirier, l'aulne.

Pour donner une idée de la puissance d'absorption de différentes essences, nous rapporterons les chiffres que donne M. Gueymard d'après les expériences de M. Laforte.

Un mètre cube de	Poirier absorbe.	362	litres de pyrolignite de fer.
	Platane.	88	
	Frêne.	85	
	Saule.	32	
	Tremble.	35	
	Aulne.	25	
	Peuplier.	19	

Dès 1831 M. Breant s'était occupé de la pénétration du bois par le sulfate de fer, mais il l'obtenait par un procédé mécanique, consistant à enfermer les pièces de bois débitées et prêtes à être mises en œuvre, dans un cylindre que l'on remplit d'une solution saturée de sulfate de fer, et de matières huileuses. On exerce ensuite, au moyen d'une pompe foulante, une forte pression sur le liquide et l'on parvient ainsi à pénétrer tous les bois jusqu'au cœur.

Des planches de sapin imprégnées d'huile de lin par ce procédé, placées sur le pont Louis-Philippe en 1834, n'ont

encore subi aucune altération aujourd'hui, tandis que l'on a dû refaire à neuf en 1840 le platelage en même bois non imprégné.

51. On nomme bois de *brin*, celui dont on a ôté seulement les quatre dosses pour l'équarrir; bois de *sciage*, celui qui est débité à la scie, en chevrons, en membrures et en planches; bois en *grume*, celui qui n'est dépouillé que de ses branches et quelquefois de son écorce, il a conservé sa rondeur naturelle. En cet état on peut l'employer comme pieu ou pilot. Il peut servir à faire des étais, étançons, étresillons, etc. On peut aussi en faire usage pour les travaux qui n'exigent pas une grande perfection d'assemblage; bois d'*équarrissage*, celui qui a été équarri sur les quatre faces, avec une légère tolérance aux angles. Le plus cher est celui qui est équarri à vives arêtes et qui ne présente pas d'aubier.

52. Les arbres de chaque essence, lorsqu'ils ont atteint le maximun de leur croissance, ont les dimensions moyennes suivantes :

NOMS DES ARBRES.	HAUTEUR de l'Arbre.	HAUTEUR du Tronc.	DIAMÈTRE du Tronc.
Sapins.	32.00	18.00	1.20
Chêne blanc.	30.00	16	0.95
Bouleau, Chêne, Pin du nord, Platane.	27	14	0.81
Alizier, Aulne, Melèze, Peuplier.	25	14	0.75
Frêne, Sycomore.	20	12	0.60
Noyer, Charme, Saule, Tilleul.	18	10	0.54

On entend par hauteur du tronc, celle de la portion de l'arbre qu'on peut employer dans les constructions ordinaires.

53. Lorsqu'on achète le bois en grume, il faut se rendre compte du cube du bois d'équarrissage qu'on pourra en re-

tirer. Le problème consiste à inscrire un carré dans le cercle qui forme la section de l'arbre. Or le cercle dont le rayon est R a pour mesure πR^2, et le carré, inscrit dans ce cercle, a pour mesure $2 R^2$, le rapport de ces deux superficies est $\frac{2}{3.1415}$ ou $\frac{100}{157}$. Ainsi 1.57 mètre cube de bois en grume fournira un mètre cube de bois équarri. Mais, à cause de l'irrégularité des bois, on suppose ordinairement dans le commerce qu'il faut un mètre cube deux tiers de bois en grume pour fournir un mètre cube de bois équarri, c'est-à-dire que cinq mètres cubes de bois en grume donnent trois mètres cubes de bois équarris.

Lorsqu'on destine le bois en grume à la grosse charpente, c'est-à-dire lorsqu'on veut en retirer des poutres, ce n'est pas le carré qu'il faut inscrire dans le cercle pour avoir une pièce offrant la plus grande résistance possible à l'action d'un effort transversal, mais un rectangle (n° 104) dont les côtés sont dans le rapport de 1 à $\sqrt{2}$. Le rectangle inscrit dans le cercle dont le rayon est R, et dont la hauteur est à la largeur dans le rapport donné, a une superficie $1.88 R^2$, comparée à celle du cercle, on trouve $\frac{1.88}{3.1415} = \frac{1}{1.67}$, ce qui revient à dire qu'il faut un mètre cube deux tiers de bois en grume pour obtenir un mètre cube de bois équarri. C'est précisément ce que suppose le commerce.

Quelquefois les marchands suivent une autre règle : ils prennent la circonférence moyenne de l'arbre, ils en déduisent le sixième, et le quart du reste est regardé comme le côté de l'équarrissage. Ainsi, la circonférence moyenne de l'arbre étant $2 \pi R$, le côté de l'équarrissage sera : $\frac{2 \pi R}{4}\left(1 - \frac{1}{6}\right) = \frac{5 \pi R}{12}$, et la section : $\frac{25 \pi^2 R^2}{144} = 0.553 \pi R^2$; les méthodes précédentes donnent $0.60 \pi R^2$ pour la même section ; on voit donc que cette dernière est à l'avantage de l'acheteur, mais elle devient sensiblement exacte lorsqu'on ne déduit pas l'écorce.

L'aubier et l'écorce occupent communément un cinquième du rayon dans les bois de chêne de grosseur ordinaire, il en résulte que le cercle de bois vif a une superficie exprimée par $\pi\left(\frac{4}{5} R\right)^2$ ou $\frac{16}{25} \pi R^2$, ou sensiblement $\frac{2}{3} \pi R^2$, c'est-à-dire que le cube du bois rond sans aubier n'est que les deux tiers du cube total de l'arbre, y compris son aubier.

Il en résulte que pour obtenir un mètre cube de bois vif, il faut employer un mètre cube et demi de bois avec aubier.

De ce qui précède on peut déduire le prix que l'on doit attribuer au bois équarri avec tolérance d'aubier, et au bois équarri à vives arêtes, d'après les prix des bois en grume.

Nous avons dit, en premier lieu, qu'il fallait cinq mètres cubes de bois en grume pour obtenir trois mètres cubes de bois équarris. Si l'on ne tenait pas compte des dosses que l'on enlève dans l'équarrissage et qui peuvent encore recevoir quelque emploi, lorsque cet ouvrage se fait à la scie, mais qui ne donnent que des copeaux bons à brûler, lorsqu'on équarrit à la cognée, le prix d'un mètre cube de bois équarri serait égal aux cinq tiers du prix du bois en grume. Mais soit que l'équarrissage ait lieu à la scie ou à la cognée, le bois enlevé a une certaine valeur. Si nous la supposons égale à la moitié du bois en grume, on ne devra attribuer au bois équarri que les quatre tiers du prix du bois en grume.

La section du bois équarri à vives arêtes, en supposant que l'aubier occupe un cinquième du rayon, est $\frac{32}{25} R^2$, la section moyenne de l'arbre, en désignant par R le rayon moyen, πR^2; le rapport des deux sections est : $\frac{32}{25} \frac{1}{\pi} = \frac{1}{2.45}$, c'est-à-dire qu'il faudrait environ deux mètres cubes et demi de bois en grume pour fournir un mètre cube de bois équarri à vives arêtes, ou, pour comparer au bois équarri avec tolérance d'aubier, il faudra cinq mètres cubes de bois en grume pour deux mètres cubes à vives arêtes sans aubier. En admettant encore que le bois de déchet n'ait que moitié de valeur du bois en grume, il s'en suivra qu'un mètre cube de bois à vives arêtes devra être payé une fois trois quarts le prix du bois en grume.

En résumé, en nommant p le prix d'un mètre cube de bois en grume, le prix du mètre cube de bois équarri avec tolérance d'aubier sera de 1,33 p; le prix du mètre cube de bois équarri à vives arêtes sera de 1,75 p.

54. Le débit des bois se fait de deux manières, qu'on distingue par les dénominations de *grand débit* et de *petit débit*; le premier se fait à la scie de long ou à la cognée, mais la scie est beaucoup plus expéditive que la cognée, aussi l'emploie-t-on ordinairement, et avec d'autant plus de raison que les quatre dosses séparées par la scie peuvent, quoique plei-

nes d'aubier, servir à divers usages; le deuxième se fait au coin et à la hache.

Dans le grand débit, on commence par scier les parties irrégulières du gros bout, en ôtant le moins de bois possible, puis on porte, à partir de cette coupe, sur la longueur de l'arbre, la longueur des pièces qu'on veut obtenir; on scie à cette longueur et on place les pièces sur chantiers; on enlève toute l'écorce, puis on inscrit dans la circonférence du petit bout, le carré que l'on veut obtenir, mais toujours de manière à ce que les dosses, au milieu, enlèvent au moins cinq centimètres d'épaisseur du cœur du bois, comme rebut; on inscrit ensuite un carré égal à l'autre extrémité; mais pour que le brin ou pièce d'équarrissage soit droit, il faut avoir soin que les côtés du carré soient bien parallèles. Pour les rendre tels, il y a plusieurs moyens; voici celui généralement usité : on place sur l'une des extrémités de la pièce une règle parallèle aux deux côtés horizontaux de carré déjà tracé, on met ensuite sur l'autre extrémité une seconde règle parallèle à la première, dont la direction détermine celle des côtés horizontaux du carré à inscrire, les autres côtés sont menés perpendiculairement aux deux premiers. On prolonge les côtés des carrés jusqu'à la circonférence, puis, avec un cordeau empreint de blanc de craie on trace le long de la pièce, les lignes qui doivent guider le trait de scie. Ces opérations sont du reste très-simples et à la connaissance de tout le monde.

Dans le petit débit, on trace sur les morceaux à fendre des lignes allant du centre à la circonférence, on enfonce de quatre centimètres sur toute la longueur de ces lignes, un coin de fer, puis on place d'autres coins dans ce commencement de fente, et on les enfonce jusqu'à ce que la pièce tombe en quartiers.

FONTE DE FER.

55. La fonte provient de la fusion des minerais de fer dans les hauts-fourneaux. C'est une combinaison de carbone et de fer, mais qui est loin de ne contenir que ces deux substances; on y trouve en outre, en plus ou moins grande quantité, du silicium, de l'aluminium, du manganèse, du soufre et du phosphore.

En s'en rapportant à la combinaison chimique des éléments constituants, on distingue trois espèces de fonte : la *fonte grise* qui contient une certaine quantité de carbone non combiné avec le fer. Elle est homogène, résistante, facile à tourner et à buriner, elle participe même un peu de la flexi-

bilité du fer forgé. Elle doit à ces qualités précieuses d'être la seule employée dans les constructions et les arts mécaniques.

La *fonte blanche* dont les éléments de fer et de carbone sont combinés aussi parfaitement que possible. Elle est dure, fragile, dépourvue d'élasticité et moins résistante que la première. On l'emploie peu dans les arts, elle est réservée pour la fabrication du fer.

La *fonte truitée*, elle est pour ainsi dire la transition de la première à la deuxième espèce, et par suite elle a des qualités intermédiaires. C'est la meilleure de toutes les fontes pour la fabrication du fer, elle est peu employée dans les arts.

En raison de leurs qualités caractéristiques, on distingue encore les fontes en fonte *aigre* et fonte *douce*.

La fonte ne peut être forgée ni soudée comme le fer, elle paraît devoir cette qualité négative à la présence du carbone, on ne peut donc l'utiliser dans les arts que par le moulage dans des formes en sable. Le moulage se fait de première ou de seconde fusion : celui de première fusion ou en fonte naturelle n'est en usage que pour les objets de peu d'importance. Ceux qui réclament l'emploi d'un métal homogène et parfaitement résistant se coulent en deuxième fusion avec des fontes de choix, de qualité éprouvée et refondues dans des fours à réverbère.

56. Sous le rapport de la fabrication, on distingue les fontes au bois et celles au coke. Pour le moulage, les premières sont inférieures aux deuxièmes, et pour la fabrication du fer elles leur sont au contraire supérieures.

Les fontes de première fusion à l'*air froid* présentent une supériorité de résistance de trois ou quatre pour cent sur celles à l'air chaud. Cette différence disparaît dans la deuxième fusion, et ces dernières se prêtent d'ailleurs mieux aux exigences du moulage que celles à l'air froid.

La fonte résiste bien à l'écrasement et aux efforts transversaux qui tendent à la rompre, mais à la traction elle n'offrirait pas de sécurité, le fer lui doit être préféré.

Dans l'emploi de la fonte, on doit prendre garde de ne pas mettre de trop grandes différences d'épaisseur entre les diverses parties d'une même pièce, sinon le retrait du métal par le refroidissement peut en déterminer la rupture. Dans les modèles légers et de peu d'épaisseur, les fontes grises passent fort souvent à l'état de fonte blanche et perdent ainsi une grande partie de leur résistance et de leur douceur. Si l'on

tient donc à conserver toutes les qualités du métal employé, il ne faut faire usage de la fonte que pour les *fortes pièces*.

Cette matière, comme on voit, présente dans l'emploi quelques difficultés, on ne peut les vaincre et les éluder qu'avec beaucoup de soins et l'on doit toujours s'adresser aux fondeurs expérimentés pour faire exécuter les modèles que l'on a projetés.

FER.

57. Le fer est le résultat de l'affinage de la fonte. L'affinage est l'opération par laquelle on cherche à séparer le fer du carbone et autres matières étrangères qui entrent dans la fonte. Nous disons on cherche à séparer, parce qu'en effet on ne parvient jamais à obtenir le fer parfaitement pur, il retient toujours quelques parcelles de substances étrangères qui modifient ses propriétés, et produisent, de concert avec le mode de fabrication, les grandes différences de qualité que présente ce métal.

Sous le rapport de la fabrication, on distingue deux espèces de fers.

Les fers au bois et fers au coke. Les premiers et leurs variétés, les fers affinés et les fers pudlés, sont généralement plus purs que les seconds, on les recherche principalement pour la construction des machines, des sondes, la tréfilerie, la taillanderie, etc. Les derniers, qui peuvent cependant, par un traitement convenable, acquérir des qualités presque égales à celles des premiers, sont principalement employés à la grosse ferronnerie, aux rails des chemins de fer, etc.

Suivant l'usage auquel on les destine, on doit choisir les fers jouissant de qualités différentes : pour des pièces soumises à des frottements puissants, on prendra des fers durs et tenaces dont la cassure est presque entièrement grenue ; si, au contraire, ils ont une certaine mollesse unie à de la ténacité, ils seront propres à l'étirage et aux pièces qui ont à subir un grand travail de forge. Les fers doux ont une cassure fibreuse intermêlée de quelques grains fins. Les fers qui ne possèdent les deux qualités qu'à un moindre degré, le doivent à la présence de matières étrangères. Ainsi, le phosphore ou un excès de silice rend le fer cassant à froid, la cassure de ce fer est en grosses facettes brillantes, le soufre ou le cuivre le fait briser à chaud ; la cassure du fer qui contient ces matières est noirâtre avec quelques traces jaunes, on l'appelle fer *rouvrain*, il perd la propriété d'être soudable ; l'antimoine ou l'arsenic le rend brisant à chaud et cassant à froid. Ces défauts ne doivent pas cependant faire proscrire entièrement ces

dernières qualités, l'économie bien entendue prescrit de les employer partout où ils présentent une sécurité suffisante, et il y aurait faute à se servir de fer de première qualité où la dernière peut suffire. Ce serait une dépense inutile.

C'est par un travail de forge et non par la fusion, comme pour la fonte, que l'on donne au fer la forme et les dimensions que réclame l'usage auquel on le destine, on le rend pliant et impressionnable au marteau par une chaleur de 500 degrés centigrades, il commence alors à rougir, à 1,400 ou 1,500 degrés, il devient d'un rouge blanc éclatant, perd toute espèce de consistance et acquiert à cette température la propriété précieuse de se *souder*, ce qui permet de préparer des pièces de fer homogènes de toutes formes et de toutes dimensions.

Outre les défauts que donne au fer la présence de matières étrangères, il y en a d'autres qui tiennent à la fabrication : la *doublure* qui provient d'une soudure imparfaite sur une certaine longueur ; les cendrures ou matières étrangères interposées dans le fer ; les criques ou fentes transversales ; les *pailles* ou petites doublures qui ont peu de longueur et se manifestent à la superficie ; enfin toutes les solutions de continuité dans le sens de la longueur, qui peuvent présenter de grands dangers dans l'emploi.

58. Dans le commerce, on trouve le fer en barres rondes, carrées ou méplates, ou en feuilles larges et minces, appelées *tôle*.

Il y a également des fers à angles employés pour la réunion des pièces de tôle dans les chaudières, les fers en T, destinés à l'établissement des charpentes en fer ; les fers à vitrages qui remplacent le bois pour les fenêtres qui doivent permettre l'introduction dans les appartements de la plus grande quantité possible de lumière ; les fers à boulons qui présentent successivement une série de parties carrées et rondes ; les fers à rampes ; enfin, dans ces derniers temps, les chemins de fer ont introduit un nouvel échantillon, celui des rails à double champignon, qui pourrait trouver son emploi dans d'autres constructions.

On trouve enfin des fers creux parfaitement soudés, de diamètre et d'épaisseur variables, qui peuvent remplacer les tuyaux de fonte et de plomb dans les conduites d'eau.

Tout le monde connaît les nombreuses applications du fer et de la fonte dans les constructions ; une des plus heureuses, est le pont du Carrousel, dû au talent de M. Polonceau. Cette construction est un modèle d'élégance, de solidité et d'économie. La fonte, le bois et le fer y remplissent chacun le rôle le plus avantageux à leur meilleur mode de résistance.

ACIER.

59. De même que les fontes, l'acier est un carbure de fer, mais à proportion moindre de carbone. Il a une grande dureté et surtout une élasticité remarquable. Sa dureté est encore augmentée par un changement brusque de température, mais alors il devient cassant. On lui rend sa ductilité première en le chauffant et le laissant refroidir lentement.

On retire l'acier naturel des fontes grises. On obtient de l'acier de cémentation en plaçant des barres de fer sur de la poussière de charbon très-divisé et en chauffant sur le contact de l'air. L'acier *poule* est le produit le plus grossier obtenu par ce genre de fabrication.

L'acier fondu s'obtient par la fusion des aciers ordinaires, ou bien il provient directement de la fonte de fer.

A une température convenable, tous les aciers peuvent se souder, mais c'est une opération difficile qui exige l'emploi d'ouvriers expérimentés.

CHAUX.

60. La connaissance des différentes espèces de chaux, de la composition des mortiers et de leurs propriétés, est de la plus haute importance pour les constructeurs. Plusieurs savants chimistes se sont occupés de cette question dans les laboratoires, mais il y a loin de là aux grands ateliers de construction; il était réservé à M. Vicat, ingénieur en chef des ponts-et-chaussées, de franchir cet intervalle et de traiter cette matière en chimiste habile et en savant constructeur.

La solidité des édifices de toute nature, et particulièrement des constructions hydrauliques, dépend du degré de dureté que peuvent acquérir les mortiers ou ciments employés pour lier entre eux les matériaux dont ils sont composés et en former, pour ainsi dire, une seule masse compacte et résistante. Isolés et indépendants, ces matériaux manqueraient de stabilité, le mortier les rend solidaires; d'abord en consistance molle il prend la forme des pierres auxquelles il adhère, et établit, pour ainsi dire, le contact entre les surfaces les plus irrégulières, puis en durcissant, il les unit quelquefois avec une force supérieure à la cohésion même des pierres. On peut dire que le mortier est l'âme des maçonneries, et comme la chaux est un principe constituant de tout mortier, nous allons nous en occuper d'abord, en donnant un résumé succinct de la théorie de M. Vicat.

Nous avons d'abord à nous occuper des calcaires propres à fournir les différentes espèces de chaux, et de leur calcination pour obtenir la chaux.

DES PIERRES A CHAUX.

61. Il est impossible de rien conclure des caractères physiques des pierres calcaires, relativement à la qualité de la chaux qu'on en retire. Ni la couleur, ni la texture, ni la dureté, ni la pesanteur spécifique, ni la pureté, ne peuvent faire prévoir leurs qualités sous ce point de vue. Les calcaires composés, ainsi que nous l'avons déjà dit, d'acide carbonique et d'un oxyde métallique appelé *chaux* et composé d'oxygène et de *calcium*; mais les calcaires sont rarement aussi purs, ils contiennent habituellement d'autres oxydes analogues à la chaux, qui sont: la silice, l'alumine, la magnésie, le quartz en grains, le fer oxydé, le manganèse, le bitume et l'hydrogène sulfuré.

Tous les calcaires dont nous avons parlé peuvent donner de la chaux, mais chaque espèce fournit une chaux douée de qualités différentes.

C'est par la cuisson ou calcination qu'on retire la chaux des pierres calcaires. Cette opération en chasse l'eau de cristallisation et une grande partie de l'acide carbonique, nous disons une grande partie parce que ce n'est que dans les opérations des laboratoires qu'on parvient réellement à expulser entièrement l'acide carbonique. Toutefois l'action de la calcination ne se borne point à ces deux effets : elle modifie encore les uns par les autres les oxydes constituants, ainsi que le prouve incontestablement l'analyse chimique de la même pierre avant et après la cuisson.

Soumis à un feu violent, les calcaires purs, c'est-à-dire uniquement composés de chaux et d'acide carbonique, laissent dégager presque entièrement l'acide et il reste de la chaux de bonne qualité, mais s'ils sont mélangés de silice, d'alumine, de magnésie ou d'oxyde de fer, l'action du feu, s'il est trop violent, pourra opérer, entre la chaux produite et les autres substances, une combinaison qui éprouvera un commencement de fusion, ce qui ôtera à la chaux sa propriété de fuser dans l'eau ou de se réduire en pâte. Le degré de cuisson est donc important, et, dans aucun cas, il ne doit être poussé trop loin; cependant il doit être suffisant pour que tout le calcaire soit calciné, c'est-à-dire, que l'acide carbonique soit chassé aussi complètement que possible, sinon il reste des morceaux mal cuits qui altèrent en partie les propriétés des

chaux grasses. La méthode de cuisson doit varier suivant la pierre employée et même suivant son tissu; en effet, à feu égal, la cuisson s'opère d'autant plus vite, que ce tissu est moins serré, et que les morceaux sont réduits à un moindre volume. Une circonstance qui paraît encore favoriser singulièrement la calcination de la pierre à chaux, c'est la présence de l'eau en vapeur. Des expériences concluantes ne laissent aucun doute sur ce dernier fait; on peut se procurer ce courant de vapeur en versant de l'eau sur des fagots placés à l'entrée du foyer. On obtient, de cette manière, une économie notable sur le combustible.

62. La cuisson de la pierre à chaux a lieu dans des fours dont la forme varie selon les pays et l'espèce de combustible que l'on y emploie. Dans le midi et le centre de la France, les fours sont des prismes rectangulaires droits, qui servent en même temps à la cuisson de la chaux et de la brique; le calcaire occupe la partie inférieure, les briques sont posées pardessus. On en éteint le feu, quand la cuisson est terminée. Dans le nord, on donne aux fours la forme d'un cylindre surmonté d'un cône légèrement tronqué; ou la forme d'un ellipsoïde de révolution tronqué à ses deux extrémités; on emploie généralement la houille dans les fours où la cuisson se fait d'une manière continue. Lorsqu'on a des fours à chaux à proximité des constructions que l'on veut exécuter, on n'a qu'à s'occuper du choix de cette matière et non de sa cuisson; nous n'entrerons donc point dans les détails de construction des fours permanents. Mais quand les travaux ont une certaine importance, et que l'on ne peut se procurer la chaux qu'à de grandes distances, tandis qu'on a du calcaire à proximité, il peut y avoir alors économie à entreprendre la cuisson; dans ce cas, on se sert des *fours* dits de *campagne*.

On les construit ainsi qu'il suit : on trace sur le sol un cercle de quatre à cinq mètres de diamètre; on creuse une rigole de cinquante centimètres de largeur, sur même profondeur, allant de la circonférence au centre : en ce point, on creuse un trou carré de soixante-dix à quatre-vingts centimètres, que l'on recouvre d'une espèce de voûte en grosses pierres, laissant entre elles des intervalles pour le passage de la flamme; on met dessous quelques fagots et un peu de paille pour allumer le feu. On range ensuite sur l'aire ainsi préparée, une première couche de pierres de petites dimensions, afin qu'elles puissent cuire, et on les pose de manière à former des rigoles allant du centre à la circonférence, pour permettre l'établissement du courant d'air. Sur ce lit de pierres, on met une couche de

houille menue et mouillée, d'environ huit centimètres d'épaisseur vers la circonférence et seulement de quatre au centre; puis un lit de vingt centimètres de pierres à chaux, de grosseur aussi uniforme que possible, et dont les dimensions en tous sens ne dépassent pas quinze à vingt centimètres; on continue à construire de cette manière un cône tronqué, composé de couches alternatives de houille et de calcaire, jusqu'à une hauteur de trois à quatre mètres : alors on le termine par une calotte sphérique, disposée de la même manière, quant à la succession du calcaire et du charbon, et recouverte d'une couche d'argile de dix centimètres d'épaisseur dont on a soin de boucher les fissures, à mesure que la chaleur les fait former. En même temps que l'on dispose les couches du calcaire à calciner, on élève le four proprement dit, qui consiste en une enveloppe du cône tronqué, de soixante centimètres d'épaisseur, formée de grosses pierres. Cette enveloppe soutient les couches et empêche la déperdition de la chaleur. Lorsque le vent tend à donner une trop grande action au feu, on le modère au moyen de paillassons comme pour les briqueteries (voir fig. 10). Il faut environ dix journées de chaufournier, et 30 journées de manœuvre, pour construire un four des dimensions indiquées; il contient 55 mètres de pierres et $6^{m}.75$ de houille : après huit à neuf jours de cuisson, on retire 50 mètres cubes de chaux. Du reste, la quantité de chaux que donne un volume déterminé de pierres, est variable; la diminution s'élève depuis un vingtième jusqu'à un dixième. La consommation de combustible varie aussi beaucoup. M. Vicat annonce que, dans un four de 50 à 75 mètres cubes de capacité, dont le feu dure de 100 à 150 heures, chaque mètre cube de chaux consomme $1^{m}.66$ de bois de corde, 22 mètres de fagots et 30 mètres cubes de fascines de genêt et de bruyères. Quand on emploie la houille, on compte ordinairement sur un mètre cube au moins de ce combustible pour trois mètres cubes de chaux.

63. Suivant que la pierre calcaire que l'on soumet à la calcination est pure ou contient une proportion plus ou moins forte de matières étrangères, on obtient des produits que M. Vicat a classés sous les dénominations suivantes : 1° *chaux grasses*; 2° *chaux maigres*; 3° *chaux moyennement hydrauliques*; 4° *chaux hydrauliques*; 5° *chaux éminemment hydrauliques*; 6° *chaux limites*; 7° *ciments limites inférieurs*; 8° *ciments ordinaires*; 9° *ciments limites supérieurs*; 10° *pouzzolanes* (1).

(1) Voir pour plus de détails les ouvrages de M. Vicat.

Ces divisions, bien que fondées en principe, ont principalement pour objet de faciliter l'étude de ces divers produits en venant au secours de l'intelligence. Les faits de la nature se lient s'enchaînent tous, il n'y a pas de ces classifications bien distinctes que nous essayons toujours d'établir, il n'y a que des nuances dans le passage d'un produit à un autre; on s'écarterait donc de la réalité si l'on croyait pouvoir regarder comme absolues les proportions que nous allons indiquer des divers composés ci-dessus, on ne doit les considérer que comme des moyennes autour desquelles se groupent, dans des limites assez étroites, il est vrai, tous les composés de la même classe.

64. Les calcaires purs ou mélangés de un à six sixièmes de silice, alumine, magnésie, fer, etc., pris séparément ou deux à deux, trois à trois, etc., et les calcaires bitumineux ou fétides, donnent des chaux grasses.

Les calcaires mélangés avec les mêmes matières que dessus et de la même manière dans la proportion de quinze à trente pour cent, mais contenant la silice à *l'état de sable,* donnent des chaux maigres.

Quant aux huit derniers composés qui sont *hydrauliques*, ils contiennent la silice, l'alumine, la magnésie et de petites proportions d'oxyde de fer à l'état d'argile ordinaire, et M. Vicat indique leur composition ainsi que la présente le tableau suivant :

DÉSIGNATION DES PRINCIPES constituants.	TYPE des chaux moyennement hydrauliques.	TYPE des chaux hydrauliques ordinaires.	TYPE des chaux éminemment hydrauliques.	TYPE des chaux limites.	TYPE des ciments limites inférieurs.	TYPE des ciments ordinaires.	TYPE des ciments limites supérieurs.	TYPE du commencement des pouzzolanes.	*Observations.*
A l'état naturel.									
Carbonate de chaux.	89	83	80	77	73	64	39	16.40	
Argile.	11	17	20	23	27	36	61	83.60	
Après cuisson.									
Chaux caustique. . .	100	100	100	100	100	100	100	100	
Argile combinée. . .	22	36	44	53	65	100	100	900 *	* Non combinée.

Les tableaux suivants indiquent la composition de divers calcaires propres à donner les différentes espèces de chaux.

DÉSIGNATION DES PIERRES.	CARBONATE de chaux ou pierre calcaire pure.	ARGILE. Alumine. Silice.	SILICE à l'état de sable.	CARBONATE de magnésie.	OXYDE de fer.	OXYDE de magnésie.
Pierre calcaire fournissant de la chaux grasse.						
Pierre de Château-Landon.	96.40	1.80	»	1.80	»	
Calcaire grossier de Vaugirard. . . .	97.20	2.80	»	»	»	
Marbre de carrière.	100.00	»	»	»	»	
Incrustation de l'aqueduc du Gard.. .	99.15	0.75	»	»	»	
Calcaire de Cartravers (Côtes-du-Nord).	92.42	4.67	»	2.91	»	
Pierre calcaire donnant de la chaux maigre.						
Calcaire des environs de Paris. . . .	78.00	2.00	»	20.00	»	
Calcaire de Villefranche (Aveyron). . .	60.00	»	»	26.20	13.80	
Calcaire de Calviac (Dordogne). . . .	70.00	3.25	24.75	»	»	

Pierre calcaire donnant de la chaux moyennement hydraulique.						
Calcaire de Sain-Germain (Ain). . . .	83.00	10.00	»	»	1.00	
Calcaire de Chaunay, près Mâcon. . .	84.00	13.00	»	2.50	»	
Calcaire de Digna (Jura).	82.00	16.50	»	1.50	»	
Calcaire de Songu (Nièvre).	88.00	4.00- 6.85	»	»	1.15	
Calcaire de Quelly (Loire-Inférieure).	74.60	3.10 4.90	»	17.40	»	
Tuf de Vitry (Nièvre).	90.00	9.60	»	»	0.40	
Pierre calcaire donnant de la chaux hydraulique.						
Calcaire de Nimes.	82.50	13.40	»	4.10	»	
Calcaire de Campvert (Nièvre).	82.63	17.00	»	»	1.37	
Calcaire de Pompean (Ile-et-Vilaine).	75.83	12.50	»	9.00	1.67	
Pierre calcaire donnant de la chaux éminemment hydraulique.						
Calcaire de Metz.	68.30	24.00	»	2.00	5.70	
Calcaire de Senonches.	70.00	29.00	»	»	»	
Ciment romain des Anglais.	55.40	36.00	»	1.00	8.60	
Plâtre-ciment de Boulogne.	54.00	31.00	»	»	15.00	

DE L'EXTINCTION DE LA CHAUX.

65. Les dénominations appliquées aux produits divers obtenus par la calcination des calcaires résultent de ces phénomènes qu'ils présentent et des propriétés diverses qu'ils possèdent lorsqu'on les convertit en *hydrates*, c'est-à-dire lorsqu'on les met dans une quantité d'eau suffisante pour les réduire en pâte. Cette opération s'appelle *extinction* de la chaux; il y a trois procédés d'extinction.

1er *Procédé*. — C'est le plus généralement usité, il consiste à jeter les fragments de chaux *vive*, ou sortant du four, dans une quantité d'eau convenable. Après un temps plus ou moins long, la chaux s'échauffe, se fend avec pétillement, se boursouffle, cause un dégagement considérable de vapeurs brûlantes et se fond en bouillie épaisse, qu'on nomme chaux *coulée*, *fondue* ou *amortie*.

Pour que ce procédé conserve à la chaux toutes ses qualités, il ne faut donner d'eau qu'autant qu'il en faut pour obtenir une pâte ferme, et ne pas réduire le tout en laitance claire comme le font toujours les maçons. De plus, il faut donner du premier coup assez d'eau pour n'être point obligé d'y revenir au moment de l'effervescence, ou bien attendre le refroidissement pour en ajouter une nouvelle quantité, sinon les parties chaudes, non fusées et atteintes par l'eau projetée, se divisent mal et la bouillie reste grenue.

En cet état, les chaux grasses se conservent indéfiniment, en les mettant dans des bassins ou fosses où l'eau ne puisse arriver et en la recouvrant d'une couche de sable, en un mot, en les mettant à l'abri de l'air et de l'eau, l'air lui restituerait une partie de son acide carbonique, et l'eau fréquemment renouvelée finirait par la dissoudre. Ainsi conservées, les chaux grasses valent mieux pour l'emploi, parce que l'on est sûr qu'elles sont complètement éteintes.

Par l'exposition à l'air pendant quelques jours, les chaux, et surtout celles hydrauliques, deviennent paresseuses, c'est-à-dire qu'elles sont lentes à s'éteindre.

Eteintes en bouillie très-épaisse : les chaux *grasses* donnent de *deux* à *trois* volumes pour un de chaux vive;

Les chaux *maigres*, La plupart des chaux *hydrauliques*, Et toutes les chaux *éminemment hydrauliques*,	de *un* à *un et un quart*, ou à *un et demi* au plus.

C'est de la propriété qu'ont les chaux grasses de *foisonner* beaucoup, c'est-à-dire de doubler et tripler leur volume, qu'elles prennent leur nom, par opposition aux chaux maigres et hydrauliques qui foisonnent peu.

2e *Procédé*, dit d'*immersion*. — Il consiste dans l'immersion de la chaux vive pendant quelques secondes; on la retire avant le commencement de la fusion et on la dépose sur une aire, ou mieux encore, on les accumule dans des futailles ou de grands encaissements. A cette immersion succèdent divers phénomènes :

1o La chaux siffle, décrépite, se gonfle, laisse dégager des vapeurs brûlantes et tombe en poussière à l'instant ou presque à l'instant;

2o Les phénomènes ci-dessus ne se prononcent avec énergie qu'au bout de cinq à six minutes;

3o Après un quart d'heure environ, la chaux fume et se fendille faiblement et dégage peu de vapeurs;

4o Ce n'est qu'après une ou plusieurs heures qu'on observe le fendillement et un léger dégagement de fumée et de chaleur;

5o Les phénomènes sont à peine sensibles, commencent tardivement; la chaleur développée n'est sensible qu'au toucher; la pulvérulence se décide difficilement, et quelquefois n'a pas lieu.

La poussière obtenue par ce procédé se nomme chaux éteinte par immersion. On peut la conserver longtemps en cet état en la mettant à l'abri de l'humidité.

Les chaux très-grasses ne se divisent en poudre très-fine par ce procédé qu'autant qu'on a soin de réduire les fragments de chaux vive à la grosseur d'une noix.

Un volume de chaux grasse *vive*, mesurée en poudre, donne 1,50 à 1,70 en poudre éteinte non tassée.

Dans les mêmes circonstances, les chaux hydrauliques donnent de 1,80 à 2,18.

3e *Procédé* ou *extinction spontanée*. — Il consiste à abandonner la chaux à l'action de l'atmosphère, alors elle se réduit en poussière très-fine avec un léger dégagement de chaleur.

Un volume de poudre vive de chaux grasse mesurée sans tassement donne 3,52 volumes de poudre éteinte spontanément, mesurée de même.

Les chaux hydrauliques, dans les mêmes circonstances, ne donnent que 1,75 à 2,55.

Cette extinction ne doit pas avoir lieu dans une atmosphère trop humide, et les poussières ne doivent être mesurées que lorsque l'extinction est complète.

66. Pour comparer le foisonnement des diverses espèces de chaux résultant de chaque procédé d'extinction, il faut prendre trois poids égaux de la même chaux, en éteindre un par chaque procédé, faire trois pâtes d'égale consistance, en ajoutant aux poussières fournies par les deux derniers, une quantité d'eau convenable. Si l'on a eu soin de noter la quantité d'eau absorbée et de mesurer les volumes avant et après l'extinction, on trouvera que :

	VOLUME de la pâte, celui de la chaux vive étant 100.	EAU absorbée.
Une pâte *molle* preparée avec 100 kilog. de chaux grasse éteinte :		
1° Par le procédé ordinaire, donne. .	250	291 k.
2° Par immersion.	234	172
3° Spontanément.	258	188
Une même pâte préparée avec 100 kilog. de chaux hydraulique, éteinte :		
1° Par le procédé ordinaire, donne. .	137	105
2° Par immersion.	127	71
3° Spontanément.	100	68

Il ressort des chiffres de ce tableau que, de tous les procédés, c'est le premier qui divise le mieux les chaux grasses et hydrauliques ; que l'ordre des deux derniers est interverti pour la chaux grasse seulement.

Du foisonnement et de la quantité d'eau absorbée par les diverses chaux, suivant le principe d'extinction adopté, il résulte que trois volumes égaux de la même chaux, en pâte de *même consistance*, peuvent contenir des poids très-différents de chaux pure et d'eau. En effet, prenons comme unité de volume celui de la pâte molle fournie par 100 kilog. de chaux grasse éteinte par le procédé ordinaire :

	kilog.		kilog.	
Ce volume de pâte contiendra..	100	de chaux et	291	d'eau.
Un volume égal provenant de chaux éteinte par immersion, contiendra.	150	—	257	—
Id. provenant de chaux éteinte spontanément, contiendra. .	135	—	255	—

Ces chiffres se rapportent à une pâte molle, mais l'on pourrait avoir des différences bien plus grandes encore; car, depuis la consistance d'une bonne pâte ferme jusqu'à celle de la laitance, la chaux grasse peut recevoir par le premier procédé d'extinction de 130 à 400 kilog. d'eau pour 100 kilog. de chaux vive. On voit qu'il est bien difficile, quand on ne sait pas comment la chaux a été éteinte, de juger si un mortier en apparence fort gras contient assez de chaux pour acquérir par la suite une bonne consistance.

67. Après les chaux éminemment hydrauliques, en remontant l'échelle, viennent les chaux limites, les ciments et les pouzzolanes. Les premières prises même au sortir du four s'éteignent très-difficilement par les moyens ordinaires. Ce n'est qu'en se servant d'eau bouillante qu'on parvient à les réduire en pâte, et encore éprouve-t-on d'autant plus de difficultés qu'elles ont été exposées plus longtemps à l'air. De sorte qu'on ne pourrait en tirer parti qu'en les traitant comme les ciments à la manière du plâtre. C'est-à-dire en les pulvérisant et les gâchant avec de l'eau.

Nota. — Les chaux maigres sont d'un mauvais service, quel que soit l'emploi qu'on en fasse. Nous ne nous en occuperons donc pas dans ce qui va suivre.

Après les chaux limites il n'y a plus d'extinction, elles forment la transition aux ciments naturels.

68. Dans les chantiers on conserve les chaux grasses éteintes par le premier procédé en les mettant dans des bassins ou fosses peu perméables et les recouvrant d'une couche de sable ou de terre fraîche de quarante centimètres d'épaisseur; en un mot, en les mettant à l'abri de l'air et de l'eau. Si elles ont été éteintes par immersion ou spontanément, on peut les conserver assez longtemps sans altération dans des futailles, sous des hangars ou dans de vastes encaissements recouverts de tuiles ou de paille. Il faut que la poussière repose sur une aire sèche.

Les chaux hydrauliques éteintes par le premier procédé ne peuvent être conservées, elles durciraient dans les fosses. Lorsque l'emploi ne doit pas avoir lieu de suite ou quand on veut les faire voyager, il faut les éteindre par immersion et les enfermer dans des futailles ou des sacs. On peut encore conserver les chaux hydrauliques vives en s'y prenant comme il suit : On étend sur l'aire d'un hangar une couche de quinze à vingt centimètres de poudre obtenue par immersion, on range par-dessus les fragments de chaux vive, en laissant le moins possible d'interstices, et quand le tas est fini on jette dessus une couche de fragments de chaux au moment où ils viennent d'être immergés ; en tombant en poussière, cette chaux se loge dans les interstices des fragments non éteints et les préserve du contact de l'air.

Les ciments réduits en poudre se conservent dans des fûts, que l'on doit avoir soin de mettre à l'abri de l'humidité, ou sur des aires bien sèches, en les défendant du contact de l'air par une couverture aussi imperméable que possible. On peut revivifier les ciments atteints d'humidité en les exposant, pendant une heure, dans un four chauffé à blanc.

69. *Des hydrates de chaux.* — Les mélanges pâteux de chaux et d'eau, dans des proportions quelconques, que l'on obtient par l'extinction ordinaire ou par l'addition d'une certaine quantité d'eau aux poussières données par les deux derniers procédés, constituent les hydrates de chaux, qui sont de la plus grande importance, comme principe constituant des mortiers.

La quantité d'eau employée tant à l'extinction qu'à la réduction en pâte des poussières de la chaux, exerce une grande influence sur la dureté future de l'hydrate obtenu. La consistance argileuse, comparable à celle de l'argile à poterie prête à être mise en œuvre, c'est-à-dire ductile et ferme, conduit à la plus grande dureté.

Action de l'air. — Des prismes de pâte préparée ainsi que nous l'avons dit, exposés à l'air, attirent l'acide carbonique de l'atmosphère et repassent à l'état de carbonate, de la surface au centre. Après un an, l'épaisseur des parties carbonatées n'est guère que de trois millimètres pour les chaux grasses et de six pour les chaux hydrauliques. Cet effet devient de plus en plus lent avec le temps.

La dureté acquise par les hydrates varie avec le mode d'extinction, celui qui divise le mieux les chaux ou qui pro-

tait le plus grand foisonnement conduit aussi à la plus grande dureté.

Les hydrates de certaines chaux très-grasses et éminemment grasses peuvent, par la seule dessiccation, acquérir une dureté comparable à celle d'une foule de pierres naturelles. Cette dureté est encore augmentée par l'absorption, avec le temps, de l'acide carbonique répandu dans l'atmosphère.

Les hydrates des chaux hydrauliques de tous les degrés, surtout de celles qui sont fortement colorées par le fer, restent toujours légers après la dessiccation, et n'acquièrent qu'une médiocre dureté, augmentée aussi avec le temps, par l'absorption de l'acide carbonique, mais jamais au point de devenir égale à celles des hydrates des chaux grasses et blanches.

Ces faits expliquent pourquoi, en certains pays, on se sert de chaux grasse pour faire des jointoyements qui résistent assez bien à l'air.

Les chaux-limites réduites en poudre et gâchées à la manière du plâtre à la consistance de pâte ferme prennent corps instantanément en s'échauffant un peu. Mais cette solidification ne persiste à l'air que quelques heures, au plus une journée. Après ce temps, il se manifeste des fissures, et l'hydrate tombe en poussière.

Les ciments naturels, réduits préalablement en poussière, et traités ainsi que nous venons de le dire avec une certaine quantité d'eau, durcissent à l'air plus ou moins promptement, quelques-uns en moins d'un quart d'heure, d'autres après plusieurs jours seulement. Les premiers seuls ont été employés jusqu'à présent. Cet hydrate résiste très-bien à l'air.

70. *Action de l'eau sur les hydrates.* Quand on immerge les hydrates de chaux grasse, l'eau, si elle est fréquemment renouvelée, finit par dissoudre toutes les parties non carbonatées. Si l'immersion a lieu dans un vase imperméable et qu'on recouvre la chaux fondue d'une certaine quantité d'eau pure, alors on remarque que trois pâtes de consistances parfaitement égale, préparées avec la même chaux, mais éteinte par chaque procédé, absorbent des quantités d'eau très-différentes, sans changer cependant de volume, la densité seule est augmentée et par conséquent la dureté. Une fois le terme de saturation atteint, la consistance et la dureté ne changent plus après plusieurs années d'immersion.

Ainsi mille parties de pâte provenant de chaux éteinte

par le premier procédé absorberont 40 parties d'eau pour leur saturation complète.

Mille partie de pâte, obtenue par le deuxième procédé, absorberont 108 parties d'eau pour la saturation.

Enfin mille parties de pâte obtenue par le troisième procédé absorberont 246 parties pour leur saturation.

Les hydrates de chaux maigres se comportent dans l'eau à peu près comme les chaux grasses, avec cette différence qu'elles ne s'y dissolvent que partiellement en laissant un résidu sans consistance.

Les chaux hydrauliques ne se dissolvent que difficilement dans l'eau, elles y durcissent au contraire et les progrès plus ou moins rapides de ce durcissement servent à classer ces espèces de chaux en trois catégories que nous avons déjà fait connaître : *les chaux moyennement hydrauliques; les chaux hydrauliques; les chaux éminemment hydrauliques*. Pour mesurer après quel laps de temps chacune de ces chaux est parvenue au même degré de dureté, on appuie sur la surface de la pâte immergée une tige de fer verticale présentant à l'extrémité inférieure une surface carrée d'un millimètre de côté et chargée à l'autre d'un poids de $0^{k}.30$ y compris le poids de la tige même. Lorsque la chaux ne cède pas sous cette pression, c'est-à-dire quand cette tige ne s'enfonce pas, on dit que la chaux a *fait prise*.

En préparant des pâtes d'égale consistance avec diverses chaux, les mettant dans des verres à boire, par exemple, les recouvrant d'eau et les abandonnant ainsi à elle-mêmes, on remarque :

1° Que les unes font prise après quinze ou vingt jours d'immersion, ce sont les chaux moyennement hydrauliques. Elles continuent à durcir, mais de plus en plus lentement, surtout après le sixième ou huitieme mois, alors leur dureté est comparable à celle du savon sec; elles se dissolvent encore, mais très-difficilement, dans une eau pure.

2° Que d'autres font prise après six ou huit jours d'immersion, ce sont les chaux hydrauliques, elles continuent à durcir de plus en plus pendant douze mois, quoique la plus grande partie de la solidification soit atteinte au bout du sixième. Alors la dureté est comparable à celle de la pierre très-tendre, et l'eau ne la dissout plus.

3° Que d'autres font prise du deuxième au quatrième jour d'immersion, ce sont les chaux éminemment hydrauliques; elles sont déjà dures et complètement insolubles après un

mois ; au sixième elles sont comparables aux pierres calcaires absorbantes, elles présentent une cassure écailleuse et donnent des éclats par le choc.

La dureté acquise par les chaux hydrauliques immergées varie avec le mode d'extinction employé. L'ordre de supériorité, pour les chaux moyennement hydrauliques, est : 1° extinction ordinaire ; 2° extinction spontanée ; 3° extinction par immersion. Pour les chaux hydrauliques et éminemmènt hydrauliques, 1° extinction ordinaire ; 2° par immersion ; 3° spontanée.

Suivant que les pâtes hydrauliques immergées sont très-molles ou très-fermes, elles rejettent une partie de l'eau surabondante, ou en absorbent au contraire une nouvelle quantité. Dans le dernier état la chaux se solidifie plus promptement et parvient dans la suite à un degré de dureté que les pâtes immergées molles n'atteignent jamais.

Les chaux limites pulvérisées et gâchées à la manière du plâtre font prise presque instantanément sous l'eau, mais la solidification ne persiste pas ; après quelques heures, elles se convertissent en bouillie molle par suite d'une extinction prolongée après le travail de la solidification.

Si l'on remanie cette matière, on n'a plus qu'une espèce de chaux hydraulique très-faible, sous le rapport de la prise et de la solidification (1).

Ces chaux limites sont donc d'un emploi dangereux et ne doivent pas être introduites dans les mortiers. Quand elles se trouvent par hasard mélangées avec les pierres qui donnent les chaux précédentes, elles se présentent après l'extinction avec la même apparence que les pigeons ou les incuits, il est donc prudent de rejeter tous les incuits. Si elles se rencontrent dans les ciments naturels ; rien ne dénote leur présence, puisqu'elles se trouvent pulvérisée, mais elles produisent un mauvais effet.

Les ciments limites employés comme à l'ordinaire, lorsqu'ils sont encore très-vifs, durcissent instantanément en s'échauffant très-sensiblement et persistent parfaitement bien dans cette solidification. Il en est de même des ciments ordinaires et extrêmes, mais à un degré d'autant moindre sous le rapport de la dureté ultérieurement acquise, que la quantité d'argile est plus forte, la vitesse de première prise va au contraire en augmentant à mesure qu'on remonte l'échelle.

(1) Recherches chimiques et pratiques sur les substances calcaires, par M. Vicat.

71. On explique la solidification des chaux hydrauliques dans l'eau en disant que par la calcination, la chaux s'est unie à l'argile et a donné lieu à des composés salins qui, par le contact de l'eau, se transforment en hydrates durs, compactes et insolubles.

La présence de l'albumine dans les pierres à chaux, ne paraît pas être nécessaires pour la propriété hydraulique, mais elle n'est pas nuisible, non plus que celle de la magnésie; les oxydes de fer et de manganèse au contraire, paraissent être nuisibles à cette propriété.

Après avoir reconnu l'élément qui, réuni à la chaux, la rend hydraulique, on a cherché à composer de toutes pièces des chaux jouissant de cette qualité si importante. Avant M. Vicat, plusieurs savants avaient tenté, mais sans succès, d'obtenir des chaux hydrauliques artificielles. M. Guyton de Morveau avait indiqué un mélange de chaux, d'argile et d'oxyde de manganèse, mais dans des proportions qui ne donnaient que peu d'hydraulicité.

La silice seule rend les chaux hydrauliques, mais elle ne se trouve pas ainsi dans la nature, du moins dans un état de finesse tel qu'elle puisse s'unir à la chaux. La silice combinée avec l'alumine ou l'argile, se trouve au contraire en grande abondance, et c'est de cette matière que l'on se sert pour composer les chaux hydrauliques artificielles. On les obtient de deux manières : la plus parfaite, mais aussi la plus dispendieuse, consiste à mêler de la chaux grasse en pâte avec une certaine proportion d'argile, à faire du tout de petites briquettes que l'on fait sécher à l'air et que l'on fait cuire. Cette méthode donne de la chaux artificielle *de double cuisson*.

Dans le second procédé, on se sert de calcaire très-tendre, de craie par exemple, que l'on broye en poudre, de manière à former pâte avec l'eau ; puis on effectue, comme précédemment, le mélange avec l'argile, et on fait cuire. Il y a économie à suivre cette méthode, puisqu'on évite la première cuisson du calcaire pur, mais aussi le mélange avec l'argile est moins intime, et les produits, quoique fort bons, sont cependant de qualité inférieure à ceux obtenus par la double cuisson.

Les proportions du mélange doivent être déterminées dans chaque localité par l'expérience. Il entre généralement de 15 à 20 pour cent d'argile, pour 85 à 80 de chaux très-grasse.

72. *Des matières qui mélangées avec la chaux donnent des mortiers ou ciments calcaires.*

La chaux éteinte, grasse ou hydraulique, ne s'emploie que rarement seule, parce qu'elle ne rendrait pas un meilleur service que les *mortiers* ou *ciments calcaires* qui résultent de son mélange avec certaines substances, qui, coûtant meilleur marché que la chaux, procurent une économie dans les travaux.

On appelle *mortier* un mélange de chaux avec des matières en grains durs et palpables, qui dans ce composé conservent entre eux une distance appréciable ou du moins sensible, par exemple, les mélanges de chaux et sable. On nomme *ciments calcaires*, le mélange de la chaux avec une matière pulvérulente à grains impalpables et absorbants, formant un tout d'apparence homogène, où l'œil ne puisse discerner aucun des éléments constitutifs.

C'est à tort que l'on donne le nom de *ciment* à la poudre de brique et de tuileau, cette poudre ne peut rien *cimenter*, rien lier par elle-même ; c'est, ainsi que nous le verrons, une pouzzolane artificielle.

On nomme *béton* un mélange de cailloux, blocailles ou recoupes avec tout mortier ou ciment calcaire, y entrant comme gangue. C'est une maçonnerie toute faite à l'avance que l'on place dans le lieu qu'elle doit occuper.

Les matières qui concourent, avec la chaux, à la fabrication des mortiers ou ciments calcaires, sont : 1° Les sables proprement dits ; 2° les arènes ; 3° les psammites ; 4° les argiles ; 5° les produits volcaniques ; 6° les produits artificiels résultant de la calcination des argiles, des arènes, des psammites, et les crasses et scories des usines, forges, verreries, etc.

1° *Les sables* résultent de la désagrégation des roches granitiques, schisteuses, calcaires ou de grès, et participent de leur nature. La désagrégation produit une poussière en même temps que le sable. Cette dernière matière se distingue de la première, en ce que les parties en sont moins ténues ; jetée dans l'eau, elle va au fond, sans en troubler sensiblement la limpidité. La poussière rend le sable gras, mais elle est facilement enlevée par les eaux, aussi le sable de rivière est-il plus pur que celui désigné sous le nom de sable de mine. Parmi les sables de mine, on distingue les sables fossiles des sables vierges ; les premiers ont été déposés loin du lieu de leur formation, après certaines révolutions du globe, les autres sont encore sur place et n'ont point été élaborés par les eaux, on les appelle ordinairement *arènes*, ils contiennent souvent une forte proportion d'argile.

Les sables qui sont principalement quartzeux ne peuvent

être attaqués par aucun acide, quelle que soit sa concentration.

Les chaux n'attaquent pas non plus les sables siliceux ou calcaires; des mortiers faits depuis longtemps et désagrégés par des agents chimiques, ont rendu, à très-peu près, un poids de sable égal à celui qui avait été employé à leur fabrication.

Les substances qui, comme les sables, ne sont point attaquées par les acides, ne paraissent avoir aucune influence sur la solidification de la chaux, elles sont principalement employées pour augmenter le volume et empêcher le retrait. On les désigne sous le nom de matières *inertes*, quelquefois elles doivent, précisément à cause de leur inertie, être employées préférablement à d'autres, par exemple, avec les chaux éminemment hydrauliques.

2° *Les sables vierges*, que nous avons désignés sous le nom d'arènes, sont mélangés de parties terreuses et argileuses qui leur donnent la propriété de faire, avec la chaux, un mortier qui durcit dans l'eau. Tous les sables mélangés d'argile ne jouissent cependant pas de cette propriété, mais ceux qui en jouissent ne la doivent qu'à cette matière, ainsi que le démontrent les expériences de M. Gérard, ingénieur des ponts-et-chaussées. On augmente la propriété hydraulique des arènes en les calcinant.

3° *Les psammites* sont formés par la réunion de grains de quartz, de schiste, de feldspath et de parcelles de mica agglutinées mécaniquement par un ciment à la fois argileux et ferrugineux. Cette roche arénacée est, quand elle est en partie décomposée, état sous lequel on peut seulement l'employer, de couleur jaune-rougeâtre, assez tendre pour se pulvériser sous les doigts. Elle durcit à l'air et au feu, ce qui permet d'en former des voûtes à la manière de la pierre calcaire, pour en opérer la cuisson. Les psammites, comme la plupart des roches employées en mélange, ont besoin d'être calcinés, ils donnent un ingrédient de qualité médiocre, après dix heures de cuisson dans un four à chaux. M. Avril, ingénieur des ponts-et-chaussées, à qui sont dues des recherches sur cette matière, employait au canal de Nantes à Brest, une partie de chaux grasse, mesurée en pâte et obtenue par le procédé d'extinction ordinaire, avec trois parties de psammite calciné et pulvérisé, pour la composition du mortier.

Les psammites donnent, à l'état naturel, un mortier hydraulique par leur mélange avec la chaux grasse, mais cette pro-

priété est considérablement augmentée par leur cuisson. Leur composition comprend essentiellement de la silice, de l'alumine et de l'oxyde de fer.

4° *Argiles.* — Nous avons déjà vu que la propriété hydraulique de certaines matières était due à la proportion d'argile qu'elles contenaient. On peut obtenir directement par la cuisson de cette matière, un ingrédient propre à former du mortier hydraulique. Celles des argiles qui paraissent donner plus facilement des matières hydrauliques contiennent de l'eau en combinaison avec les autres éléments et sont généralement attaquées par les acides.

Les briques ne sont autre chose que de l'argile calcinée, aussi donnent-elles généralement par la pulvérisation, une poudre connue sous le nom de *ciment*, qui communique à la chaux grasse la propriété de durcir sous l'eau. Mais souvent la calcination a été poussée trop loin, il y a eu un commencement de vitrification qui a converti en une matière complétement inerte, une argile qui, cuite à un degré convenable, aurait donné un *ciment* excellent.

5° *Les pouzzolanes naturelles* sont des matières volcaniques pulvérulentes, produites en général par la désagrégation des roches volcaniques modernes et entraînées par les eaux. On en trouve une grande quantité près de Pouzzols, d'où dérive le nom donné à cette matière. On donne aussi le nom de Pouzzolanes à des fragments de laves obtenus par le cassage. Ils se présentent avec des caractères extérieurs variés, ils sont âpres au toucher, durs, rayant le verre, assez résistants au choc du marteau, dont souvent ils prennent l'empreinte. Les pouzzolanes sont essentiellement composées de silice et d'alumine combinées avec un peu de chaux, de potasse, de soude, de magnésie et de fer. Cette dernière substance est en outre très-fréquemment mélangée mécaniquement aux pouzzolanes.

Les acides agissent très-diversement sur les pouzzolanes; ils n'ont pas d'action sur quelques-unes, ils en attaquent d'autres au contraire très-énergiquement et en dissolvent une proportion qui excède souvent la moitié.

Elles donnent avec la chaux des mortiers hydrauliques très-bons. On comprend aussi sous le nom de pouzzolanes, les tripolis, les grès et les argiles calcinés par suite d'embrasement de houillères.

6° On donne également le nom de *pouzzolanes artificielles*

aux substances qui, convenablement calcinées, sont susceptibles de donner des mortiers par leur mélange avec de la chaux. Les arènes, les argiles, les psammites donnent par la calcination des pouzzolanes artificielles. Ces substances, quoique composées principalement de silice et d'alumine, ne se comportent pas toutes à beaucoup près de la même manière : les unes s'allient avec de la chaux grasse, les autres avec de la chaux plus ou moins hydraulique; parmi ces divers alliages, les uns résistent bien à l'air, aux intempéries des saisons; les autres ne se maintiennent que par une immersion continuelle, tandis que d'autres perdent toute cohésion par le contact de l'eau.

Les arts fournissent quelques pouzzolanes artificielles : les fragments de tuile, les cendres de tourbe et de houille donnent quelquefois une matière énergique, mais quelquefois aussi une matière entièrement inerte. Les laitiers des hauts fourneaux, les crasses des forges sont ordinairement peu énergiques.

La fabrication des pouzzolanes artificielles se réduit presque toujours à une simple calcination; mais elle doit être faite de manière :

1° Que les matières acquièrent assez de consistance pour ne plus faire pâte avec l'eau;

2° Qu'elles atteignent le minimum de pesanteur spécifique;

3° Qu'elles deviennent plus facilement attaquables par les agents chimiques.

Une cuisson très-modérée, et tellement dirigée d'ailleurs qu'il soit possible à l'air d'atteindre toutes les parties de la matière en incandescence, paraît remplir cette condition. Le contact de l'air a une influence favorable, ainsi que le démontrent d'une manière incontestable les expériences de M. Raucourt, mais on ne se rend pas bien compte de son mode d'action.

M. Vicat a proposé de calciner les pouzzolanes artificielles en réduisant les argiles, ou autres matières dont on a fait choix, en poudre très-fine, qu'on étend sur des plaques de tôle, portées à la température du rouge cerise. Cette calcination qui dure moyennement 15 à 20 minutes, n'a pas encore été employée en grand.

Un autre moyen consiste à rendre la matière à calciner très-poreuse et perméable à l'air, en la pétrissant avec du sable quartzeux, de la sciure de bois ou de la paille hachée, divisant

ensuite la pâte en prismes que l'on fait cuire dans la région supérieure et la moins chaude des fours à briques. On peut encore rendre les argiles poreuses en les mélangeant, dans la proportion de trois parties pour une, avec de la chaux grasse en pâte.

La méthode de calcination généralement employée consiste à faire cuire, dans un four à chaux, la pouzzolane telle que la nature la présente, en ayant soin de la diviser en petits fragments de 5 à 6 centimètres. On ne doit pas pousser le feu à une température aussi élevée que pour les briques, car on n'obtiendrait alors que des matières peu énergiques, peut-être même complètement inertes.

48. M. Vicat a donné une signification rigoureuse aux mots *très-énergiques*, *énergiques* et *peu énergiques*. Il dit qu'une substance est très-énergique, quand elle donne, par son mélange dans une certaine proportion, avec de la chaux très-grasse éteinte par le procédé ordinaire, un mortier capable :

1° De faire corps du premier au troisième jour après l'immersion ;

2° D'acquérir, après un an, la dureté de la brique ;

3° De donner une poussière sèche sous la scie à ressort.

Une substance *énergique* est celle qui, dans les mêmes circonstances, donne un mortier capable :

1° De faire prise du quatrième au huitième jour ;

2° D'acquérir, après un an d'immersion, la dureté de la pierre très-tendre ;

3° De donner une poussière humide sous la scie à ressort.

Une substance *peu énergique* est celle qui, dans les mêmes circonstances, donne un mortier capable :

1° De faire prise du dixième au vingtième jour après l'immersion ;

2° D'acquérir, après un an d'immersion, la dureté du savon ;

3° D'empâter la scie.

Enfin les substances *inertes* sont celles qui, unies en proportion convenable avec de la chaux grasse en pâte, ne changent rien à la manière dont cette chaux immergée se comporte dans l'eau.

Le sable quartzeux, entièrement composé de silice, est une matière complètement inerte.

L'analyse chimique indique que les pouzzolanes sont d'autant plus énergiques qu'elles se dissolvent mieux dans les acides.

73. Les différentes substances dont nous venons de parler doivent, suivant leur plus ou moins d'énergie, ou leur inertie, être mélangées avec des chaux de nature variable, de manière que leurs propriétés soient compensées. Ces mélanges doivent aussi varier suivant l'usage qu'on se propose d'en faire.

Si les mortiers sont destinés à être constamment immergés, ou exposés à l'humidité, ils doivent, pour acquérir une grande dureté, être composés de la manière suivante, d'après M. Vicat :

1° Avec les chaux grasses, les pouzzolanes naturelles ou artificielles très-énergiques ;

2° Avec les chaux moyennement hydrauliques, les pouzzolanes naturelles ou artificielles simplement énergiques ; les arènes ou les psammites énergiques ; les pouzzolanes très-énergiques mélangées de moitié sable ;

3° Avec les chaux hydrauliques, les pouzzolanes naturelles et artificielles peu énergiques, ou énergiques, mélangées de moitié de sable ; les arènes et les psammites peu énergiques ;

4° Avec les chaux éminemment hydrauliques, les matières inertes, tels que sables, laitiers, etc.

Pour les mortiers et ciments qui doivent être constamment exposés aux intempéries de l'atmosphère, on doit associer :

1° Avec les chaux hydrauliques, les sables purs, les poussières quartzeuses ou calcaires ;

2° Avec les chaux éminemment hydrauliques, les sables purs, les poussières quartzeuses ou calcaires ;

3° Avec les chaux grasses et moyennement hydrauliques, aucune substance ne peut donner un bon résultat.

D'après ces indications, qui résultent de nombreuses expériences, on voit qu'il faut combiner les chaux grasses très-caustiques avec les substances très-énergiques, et les chaux très-hydrauliques et peu caustiques, avec les substances inertes. Ces deux termes extrêmes de l'échelle des mélanges serviront de guide pour les cas intermédiaires.

PROPORTIONS DES MÉLANGES.

74. Une condition fort importante pour obtenir un bon mortier, est de doser convenablement les matières qui le composent. Nous diviserons encore, ainsi que nous venons de le faire, les mortiers en deux catégories, ceux *destinés à l'immersion* et ceux *exposés à l'air*.

Pour les premiers, on admet généralement les proportions suivantes : pour un volume en poudre sèche d'arène, de psammite, d'argile, on met 0.15 à 0.20, ou du septième au cinquième de chaux grasse, éteinte en pâte forte par le procédé ordinaire, ou un cinquième à un quart de chaux moyennement hydraulique, ou enfin un quart à un tiers au plus de chaux hydraulique.

Pour un volume de pouzzolane énergique et très-énergique, on met d'un tiers à un demi-volume de chaux grasse, ou de deux à trois cinquièmes de chaux moyennement hydraulique.

Pour un volume de sable quartzeux ou calcaire, on met de 0.50 à 0.60 de chaux hydraulique ou éminemment hydraulique.

Généralement, s'il s'agit d'un mélange de chaux grasse et de pouzzolane quelconque, il vaut mieux pécher par défaut que par excès de chaux, et s'il s'agit d'un mélange de chaux hydraulique ou éminemment hydraulique avec les sables quartzeux ou calcaires, il vaut mieux pécher par excès que par défaut de chaux.

75. Le procédé d'extinction exerce une grande influence sur la dureté qu'acquièrent les mortiers immergés. L'expérience indique :

1° Que pour tous les ciments à chaux grasses ou moyennement hydrauliques, l'ordre de prééminence des procédés d'extinction est : extinction spontanée, extinction par immersion, extinction ordinaire;

2° Que pour tous les mortiers à chaux hydrauliques et éminemment hydrauliques, cet ordre est : extinction ordinaire, extinction par immersion, extinction spontanée.

Quand le mortier est composé de chaux mélangée avec l'ingrédient qui lui convient le mieux; l'influence du procédé d'extinction est très-faible, mais elle devient d'autant plus grande qu'on s'éloigne plus de la convenance réciproque nous avons indiquée pour les matières à mélanger.

76. Pour la fabrication des mortiers et ciments calcaires on trouvera les détails nécessaires dans le projet de devis nº 177. Il faut qu'ils soient toujours de *bonne consistance argileuse*.

77. Une des applications les plus utiles dans l'art des constructions, des mortiers et ciments calcaires hydrauliques est de les faire entrer comme gangue dans les bétons, et d'employer ces derniers composés dans l'eau, même sans qu'il soit nécessaire d'avoir recours aux épuisements, opération toujours dispendieuse, quelquefois impossible.

Dans l'immersion du béton il ne faut pas le jeter à la pelle, mais le conduire jusqu'au fond et l'y déposer doucement, quand on a une grande hauteur d'eau, on peut se servir de caisses que l'on fait basculer quand elles sont arrivées sur le sol ou sur la couche qui précède. L'immersion doit avoir lieu par couche de 40 centimètres au plus, qu'on peut affaisser et aplanir par compression, mais sans choc; la macération est nuisible. On parvient de cette manière à établir des aires sur lesquelles on peut fonder en toute sécurité; cependant on ne doit pas se dissimuler qu'une maçonnerie faite à sec avec le même mortier ou ciment calcaire qui a servi de gangue au béton, et ayant acquis une certaine dureté avant l'immersion, ne soit de beaucoup préférable sous le rapport de la résistance.

78. On ne doit pas conclure la bonté future d'un ciment de la rapidité de la prise; il est tels ingrédients dont les qualités ferrumentaires ne se développent que d'une manière lentement progressive et qui arrivent cependant à un haut degré de solidification. De plus, le deuxième procédé d'extinction, par exemple, hâte la prise de tous les bétons à chaux éminemment hydrauliques, mais ne leur fait pas acquérir avec le temps la même dureté absolue que le procédé ordinaire.

D'après M. Vicat:

« 1º L'excès de chaux grasse, ou moyennement hydraulique, dans un ciment, en retarde la prise; les proportions les plus favorables à cette prise sont aussi celles qui donnent la plus grande dureté.

« 2º Le second et le troisième procédé d'extinction paraissent généralement plus propres à accélérer la prise que le premier.

« 3º Les progrès des ciments à chaux grasses et pouzzolanes

énergiques ou très-énergiques sont encore sensibles pendant la troisième année qui suit l'immersion.

« 4° Les progrès des mortiers à chaux hydraulique ou éminemment hydrauliques, et sables quartzeux ou calcaires, ne sont plus sensibles après la seconde année d'immersion.

« 5° Le temps modifie mais ne renverse pas les rapports de dureté qui dérivent de la comparaison des trois procédés d'extinction, c'est-à-dire que l'ordre de prééminence, observé à la fin de la première année, est encore le même à la fin de la troisième, et ainsi de suite.

Les ciments naturels, surtout quand ils contiennent un excès de chaux, comme les ciments inférieurs, peuvent recevoir une certaine quantité de sable, avec lequel ils se lient, à raison de cet excès même, beaucoup mieux que les autres. Quelquefois on prend un demi-volume de sable et un volume de ciment, on les mélange à sec et on y ajoute successivement un volume d'eau bien claire, égal à la moitié du volume de ciment, et on gâche le tout jusqu'à ce que le mélange soit homogène et en pâte molle. Si la table était humide, il faudrait diminuer la dose d'eau, et, dans aucun cas, il ne faut le délayer dans une grande quantité d'eau, sinon le mortier ainsi obtenu se gerce et cesse d'être imperméable.

Il faut bien se garder de retremper le mortier qui aurait durci, de le briser et de le remanier, il descendrait au-dessous des mortiers faits avec les chaux moyennement hydrauliques, pour la lenteur du progrès vers une nouvelle solidification. Les ciments sont toujours traités à peu près de même, qu'ils doivent être immergés ou exposés aux intempéries de l'air; il n'y a de différence que dans la quantité de sable mélangé. Pour les mortiers destinés à l'immersion, il ne faut que peu ou point de sable; pour les autres, on peut aller jusqu'à rendre égaux les volumes de sable et ciment.

79. *Des mortiers exposés à l'air et aux intempéries.* Nous avons déjà dit que les mortiers à chaux hydrauliques ou éminemment hydrauliques pouvaient seuls acquérir une grande dureté à l'air et aux intempéries, cependant comme les mortiers à chaux grasses sont très-généralement employés, nous donnerons pour ceux-là comme pour les précédents, l'ordre de priorité des ingrédients qui entrent dans la composition des mortiers. Cette supériorité ne dépend du reste que de la grosseur des sables employés. On appelle *gros sable* celui dont le diamètre des grains varie de un et demi à trois millimètres; sable fin celui dont le diamètre est de un à un

et demi; poussières, les subtances solides dont le diamè des plus grosses particules n'atteint pas un cinquième d millimètre; le mélange du sable gros avec le fin donne u sable à grains inégaux. Le tableau du § 82 fait connaît dans quel ordre de priorité il faut employer les sables gro ou fins, et la quantité qu'il faut en introduire dans le mélange, suivant le procédé d'extinction.

Le choix à faire dans les trois procédés est également indiqué par le tableau. Les chiffres 1, 2, 3 sont rangés dan l'ordre de la prééminence.

On trouve dans le sable de mer tous les degrés de grosseu et de finesse, mais il faut se méfier de ses propriétés hygrométriques, et ne pas mettre les mortiers dans lesquels il ent en contact avec le bois.

Il faut pour les mortiers exposés à l'air comme pour ceu destinés à l'immersion, faire un mélange parfait des matière constituantes, mais il y a généralement plus à perdre qu'à gagner, à prolonger la manipulation au-delà du temps nécessaire pour obtenir un mélange homogène et ferme.

Quand on emploie le mortier bien fait, c'est-à-dire très-ferme, il faut mouiller les matériaux pendant les chaleurs et arroser les maçonneries de manière à préserver le mortier d'une dessiccation trop rapide.

80. Les ciments calcaires destinés à être enfouis dans une terre humide, doivent être composés comme ceux destinés à l'immersion, et les mortiers comme ceux exposés aux intempéries, sauf les différences suivantes: 1° avec les chaux hydrauliques et éminemment hydrauliques il ne faut pas employer des sables trop fins et passant à l'état de poussières, et les proportions doivent être modifiées ainsi qu'il est indiqué au tableau général.

81. Les mélanges calcaires dont nous venons de parler qui supportent le mieux les vicissitudes auxquelles ils peuvent être exposés, c'est-à-dire qui ne perdent que peu ou point de leur résistance, en les faisant passer successivement de l'eau dans l'air et puis dans une terre humide, sont les *mortiers* à chaux éminemment hydrauliques et hydrauliques; on obtient le meilleur résultat possible quand on est maître de les laisser durcir à l'air avant de les immerger ou de les enfouir. Ce sont également ceux-là qui résistent le mieux à la gelée, après six ou sept mois d'âge, ils sont hors de toute atteinte; sous ce rapport la résistance s'accroît avec la quantité de sable employée dans le mélange.

Les mortiers à chaux grasses résistent aussi assez bien à la gelée, quand ils ont atteint un degré de solidification. Il faut de même qu'ils soient très-maigres, et l'on doit plutôt forcer les quantités de sable indiquées au tableau que les diminuer, surtout pour l'extinction spontanée. Il faudrait au contraire diminuer les quantités pour un mortier constamment à couvert, dans un édifice.

Il n'existe pas, du moins à notre connaissance, d'expériences donnant l'adhérence des mortiers aux matériaux de construction. Cette adhérence paraît tenir plutôt à la texture des matériaux mêmes qu'à la qualité du mortier. Ceux dont les surfaces sont rugueuses adhèrent mieux que ceux qui les ont unies; les pierres poreuses mieux que les compactes; celles à pâte grossière mieux que celles à pâte fine; les pierres meulières mieux que les calcaires, et ces dernières mieux que les granites et les schistes, enfin le basalte et le grès ont fort peu d'adhérence avec les mortiers.

82. Les tableaux suivants résument l'ordre de prééminence des procédés d'extinction et les convenances réciproques des chaux et ingrédients qui entrent dans la fabrication des mortiers.

B. Convenances réciproques des diverses chaux et des ingré dients qui entrent dans la composition des mortiers et ciment calcaires ; proportions des mélanges ; ordre de supériorité de ingrédients pour chaque espèce de chaux ; ordre de prééml

CHAUX.	INGRÉDIENTS pour mortiers et ciments calcaires destinés à l'immersion.	CHOIX du procédé d'extinction.	Ciments enfouis
1 mètre de pâte formée de *chaux éminemment hydraulique*, avec	1m.50 à 2 mètres de matières inertes, telles que : sables purs, quartzeux ou calcaires, fins ; à grains inégaux ; gros ; les laitiers, scories, etc.	1. 2. 3	»
1 mètre de pâte formée de *chaux hydraulique*, avec	3m. 30 à 4 mètres de pouzzolanes naturelles ou artificielles : 1° peu énergiques ; 2° énergiques tempérées par 1/2 de sable ; 2° arènes et psammites peu énergiques. 1m.50 à 2 mèt. de sables quartzeux ou calcaires.	1. 2. 3	»
1 mètre de pâte formée de *chaux moyennement hydraulique*, avec	1m.66 à 2m.50 de pouzzolanes naturelles ou artificielles : 1° énergiques ; 2° très-énergiques avec 1/2 de sable ; ou 4 à 5 mètres d'arènes ou psammites énergiques.	3. 2. 1	»
1 mètre de pâte formée de *chaux grasse*,	2 mèt. à 3m.30 de pouzzolanes naturelles ou artificielles : 1° très-énergiques (*a*) ; 2° énergiques ou 5 mèt. à 6m.60 d'arènes, de psammites, d'argiles.	3. 2. 1	»

nence des procédés d'extinction. (Le volume de chaux est toujours égal à un mètre cube, la pâte est ferme et obtenue par le premier procédé d'extinction, les ingrédients sont réduits et mesurés en poudre sèche.

INGRÉDIENTS pour mortiers et ciments calcaires exposés à l'air et aux intempéries.	CHOIX du procédé d'extinction.	Mortiers enfouis.	*Observations.*
1m.50 à 2 mètres de : 1° Sables purs : 1° fins, 2° mélangés, 3° gros ; 2° Poussières : 1° quartzeuses, 2° provenant de pierres calcaires dures et autres matières inertes.	1. 2. 3		
1m.50 à 2 mètres de : 1° Sables purs : fins, à grains inégaux, gros ; 2° Poussières : 1° quartzeuses, 2° provenant de pierres calcaires dures ou d'autres matières inertes.	1. 2. 3		
1m.70, 1m.71, 5m.80 (suivant les procédés d'extinction) : sables purs à grains inégaux; fins; gros.	3. 2. 1	2.40	(a) 1m.75, 1m.25, 0m.55 pour les intérieurs.
2m.20, 2m.40 : 1° Sables purs, gros ; 2° A grains inégaux ; 3° Fins.	3. 2. 1	2.00 1.30 0.50	Pour les enduits le gros sable paraît éviter le mieux le retrait et les fentes avec toute espèce de chaux.

ORDRE DE PRÉÉMINENCE des procédés d'extinction pour	CHAUX grasses.	CHAUX moyennement hydrauliques.	CHAUX hydrauliques.	CHAUX éminemment hydrauliques.
Le foisonnement.	1. 3. 2	1. 2. 3	1. 2. 3	1. 2. 3
La dureté des hydrates à l'air.	1. 3. 2	1. 2. 3	1. 2. 3	1. 2. 3
La dureté des hydrates immergés. . . .	1. 3. 2	1. 3. 2	1. 2. 3	1. 2. 3
La dureté des mortiers immergés. . . .	3. 2. 1	3. 2. 1	1. 2. 3	1. 2. 3
La dureté des mortiers à l'air.	3. 2. 1	3. 2. 1	1. 2. 3	1. 2. 3
La promptitude de la prise des mortiers immergés.	(2 3) 1	(2 3) 1	(2 3) 1	(2 3) 1

La cause la plus probable, en même temps que la plus influente de la solidification des mortiers, paraît être l'adhérence de la chaux pour les matières qu'on y incorpore. Si cette adhérence est moins grande que la cohésion de la chaux, la résistance n'est pas augmentée ; si elle est plus forte, la résistance s'accroît d'autant plus que les points de contact sont plus nombreux, aussi y a-t-il avantage dans ce cas à employer des parties pulvérulentes pour le mélange, en même temps que des parties en grains.

Les caractères physiques sont peu propres à faire distinguer les pierres à chaux grasse de celles à chaux hydraulique, on peut cependant dire d'une manière générale que celles qui fournissent la chaux de cette dernière nature, ont une couleur grisâtre assez terne, et donnent une odeur argileuse en les exposant à la chaleur de l'haleine. Ce ne sont là que des indications, que l'essai direct doit toujours confirmer, avant de pouvoir se prononcer d'une manière certaine.

PLATRE.

83. Le plâtre, de même que la chaux, est le résultat de la calcination des pierres calcaires, que nous avons désignées, n° 16, sous le nom de pierres gypseuses. Mais, contrairement aux pierres à chaux, celles à plâtre ne laissent pas échapper l'acide combiné avec la chaux. La calcination ici n'a pas d'autre effet que d'expulser l'eau de cristallisation, et il reste un sulfate de chaux.

84. La cuisson ou calcination du plâtre s'opère dans des fours d'une construction simple et qui se rapproche beaucoup de celle des fours à chaux. On commence par disposer sur l'aire du four, avec des morceaux choisis de pierre à plâtre, une espèce de pont à plusieurs arches sur lesquelles on met d'abord les plus gros morceaux de plâtre en ménageant des insterstices, on place ensuite les morceaux plus petits et on recouvre avec les fragments et la poussière. Cette préparation finie, on allume sous chaque arche un feu de bois ou de fagots, en ayant soin de ne donner en commençant qu'une chaleur modérée, aussi égale que possible dans toute la masse, pour expulser l'eau hygrométrique : on augmente ensuite le feu, mais à un degré bien inférieur à celui nécessaire à la calcination de la chaux. La cuisson du plâtre s'opère entre les limites 80° et celle du rouge-brun, en deçà et au-delà on obtient un produit inerte qui ne peut absorber l'eau. D'où il suit que la cuisson du plâtre se réduit à une simple dessiccation que l'on pourrait opérer au moyen de la vapeur d'eau.

On éviterait ainsi les incuits et les trop cuits que l'on rencontre dans toutes les fournées et qui sont des produits inertes.

La cuisson exige environ 300 kilogrammes de bois pour un mètre de plâtre brut.

85. Le plâtre doit être employé le plus tôt possible après la calcination ou du moins être mis à l'abri du contact de l'air, surtout quand celui-ci est humide, autrement il perd une partie de ses propriétés, on dit alors qu'il est *éventé*.

Gâché avec de l'eau, après avoir été réduit en poudre, le plâtre convenablement cuit, dégage de la chaleur, et se prend au bout de quelques instants en masse ferme, dure et résistante.

Cette solidification est due à ce que le plâtre calciné reprend son eau de cristallisation et cristallise ensuite confusément de manière que ces cristaux s'entrelacent et forment une masse serrée. Ainsi que cela a presque toujours lieu dans les cristallisations confuses, le plâtre se gonfle au moment de sa solidification, et c'est un effet auquel il faut avoir égard quand on l'emploie dans des cloisons, sinon on pourrait faire déverser les murs contre lesquels a lieu cette poussée. Pour diminuer un peu ce gonflement, on ajoute quelquefois de la cendre ou d'autres poussières.

Suivant l'usage qu'on en veut faire, il faut le gâcher clair ou épais ; pour les moulures on se sert d'une pâte molle ; pour les scellements, elle doit être ferme ; dans les ouvrages ordinaires, les volumes d'eau et de plâtre en poudre doivent être à peu près égaux.

Afin d'augmenter sa dureté, on gâche quelquefois le plâtre avec du lait de chaux, et on l'emploie ainsi au rejointoiement des maçonneries de briques, ce qui réussit assez bien pour les bâtiments, mais l'adhérence aux briques est faible ; il faudrait vider les joints sur deux à trois centimètres de profondeur pour obtenir un bon résultat, précaution que l'on ne prend pas.

On le gâche aussi avec de l'eau chaude tenant en dissolution de la colle de Flandre blanche, de manière à faire une pâte de consistance molle, on ajoute ensuite à cette pâte diverses substances colorantes, de manière à imiter les marbres, et l'on a un composé connu sous le nom de *stuc ;* quand le mélange est sec, on le polit d'abord avec la pierre ponce, puis avec le tripoli, on le vernit ensuite et l'on obtient l'apparence des plus beaux marbres.

Le stuc véritable se fait avec de la poudre de marbre d'Italie, de la chaux et du plâtre en très-petite proportion.

Tout le monde connaît l'emploi du plâtre dans l'agriculture.

CHAPITRE III.

De la résistance des corps aux efforts qui tendent à les rompre.

86. Dans toutes les constructions on emploie les corps solides comme matériaux, et ils se trouvent soumis à des efforts qui tendent à altérer leur constitution moléculaire et à détruire l'attraction propre aux molécules de chacun d'eux, qu'on nomme cohésion. Le constructeur doit connaître les rapports existants entre les puissances destructives et les résistances que les corps sont susceptibles de leur opposer.

Il y a plusieurs manières d'attaquer et de détruire l'agrégation des corps :

1° La pression qui comprime et produit l'écrasement;

2° Le tirage qui produit l'extension;

3° L'effort qui tend à diviser un corps en faisant glisser, pour ainsi dire, une de ses parties sur l'autre sans exercer ni pression ni tirage hors de la face de rupture.

Il y a encore d'autres manières d'attaquer et de détruire l'agrégation des corps, tels que la flexion, la torsion et le choc; mais ces dernières dépendent probablement des trois premières par des lois plus ou moins simples.

87. Chaque corps résiste avec plus ou moins d'énergie à chacune de ces causes de destruction et y résiste pendant un temps plus ou moins long. On distingue ces diverses propriétés des corps par les dénominations suivantes : 1° *résistance à l'extension*; 2° résistance à *la compression*; 3° résistance *transverse* ou du glissement. Leur mesure est l'effort nécessaire pour produire la rupture par compression, par extension ou transversalement, en agissant sur l'unité superficielle. Par exemple, la résistance à la rupture pour extension du fer forgé est de 40,000,000 kilogrammes. Cela veut dire que ce poids romprait par extension une barre de fer dont la section perpendiculaire au sens du tirage serait égale à un mètre carré. L'effort qui produit la rupture en quelques heures, en quelques mois, ou même en un temps plus long, donne ce que M. Vicat, ingénieur en chef des ponts et chaussées, a nommé les *résistances instantanées*; et le plus grand effort auquel le corps peut résister *indéfiniment* donne les

résistances permanentes. Ce sont ces dernières surtout que le constructeur a besoin de connaître. Le rapport de ces trois modes de résistance dans les corps est très-variable, et tout tend à faire penser que jamais on ne pourra déterminer les résistances à l'extension par la connaissance des résistances à la compression, ou des résistances transverses. C'est à leur détermination que doivent tendre les expériences, malheureusement elles exigent un temps très-long et l'on est obligé de s'en rapporter aux exemples fournis par les constructions existantes dont le temps a constaté la solidité, ou de la déduire des résistances instantanées, en prenant une fraction de ces dernières, comme représentant la résistance permanente.

88. Les corps, lorsqu'ils sont soumis aux causes de désagrégation que nous venons de considérer, se compriment ou s'allongent d'une certaine quantité avant de se rompre, en vertu de la propriété qu'ils ont presque tous, et à un degré plus ou moins grand, d'être élastiques. La connaissance de l'élasticité des matériaux employés dans les constructions, donne le moyen de calculer la quantité dont une pièce peut se comprimer, s'allonger ou fléchir sous une charge déterminée.

En vertu de l'élasticité, un corps oppose une certaine résistance quand on veut l'allonger ou le comprimer d'une certaine quantité. Le rapport du *poids* qui allonge ou comprime, en agissant sur une section transversale égale à l'unité superficielle, à la *fraction* qui exprime la variation de la longueur naturelle, causée par ce poids, est la *mesure* de cette résistance.

Ainsi, en désignant par E l'élasticité, par P le poids par unité superficielle, par l l'allongement produit par ce poids, sur l'unité de longueur, l'expression algébrique de la force d'élasticité est :

$$(1) \qquad E = \frac{P}{l}$$

Un exemple numérique finira d'éclaircir ce que l'on doit entendre par cette force; supposons qu'une barre de fer, de 10 millimètres sur 8 de côté, et de 4 mètres de longueur, s'allonge de 3 millimètres, sous l'action d'un poids de 1,200 kilogrammes, le *poids* supporté par millimètre carre, est de $\frac{1,200}{80} = 15$ kilogrammes; la *fraction* qui exprime la

variation de la longueur naturelle est $\frac{0.003}{4} = 0.00075$. L'élasticité E est donc égale à $\frac{15}{0.00075} = 20,000$ kilogrammes. (Si l'on prenait le mètre pour unité superficielle, il faudrait multiplier la valeur de E par 1,000,000, nombre de millimètres que contient 1 mètre carré.)

53. Le nombre E servira à connaître l'allongement produit par un poids quelconque, sur une barre de fer d'un équarrissage donné. Ainsi l'allongement produit par 1 kilogramme sur une barre de fer d'un mètre carré de section transversale, est de $\frac{1}{20,000,000,000}$; sur une barre d'un millimètre carré de section, le même poids produira un allongement de $\frac{1}{20,000}$ de mètre, et ainsi de suite.

54. De la formule du nº 1, on peut encore déduire le poids qui produirait un allongement déterminé : par exemple, le poids qui allongerait ou accourcirait une barre d'une quantité égale à sa longueur primitive, les variations de longueur étant toujours supposées demeurer proportionnelles au poids qui les produisent, serait précisément égal à E ; de sorte que l'on peut encore dire que l'élasticité est égale à la force nécessaire pour allonger ou pour accourcir un prisme, dont la section transversale est l'unité superficielle, d'une quantité égale à la longueur de ce prisme.

Quand on connaît de combien on peut allonger ou comprimer les fibres d'un corps sans en altérer la structure, il est facile de limiter l'effort qu'on peut lui faire supporter avec sécurité. Par exemple, nous avons vu que la force de l'élasticité du fer forgé est de 20,000,000,000 kilogrammes et que la résistance à la rupture de la même substance est de 40,000,000 kilogrammes ; admettons que le fer serait altéré si les fibres étaient allongées ou accourcies de 0,0005 de leur longueur naturelle, nous en conclurons qu'une barre de fer serait trop chargée si on lui faisait supporter un effort supérieur à $20,000,000,000 \times 0,0005 = 10,000,000$ kilogrammes par mètre carré.

Résistances des corps à l'écrasement ou résistances instantanées à la compression.

55. Les résistances instantanées à la compression sont, dans tous les cas, exactement proportionnelles aux bases des

prismes rectangulaires semblables, quelles qu'en soient les dimensions.

Les résistances instantanées à la compression des cylindres employés comme rouleaux sont proportionnelles aux produits des diamètres par les longueurs, et, dans les cylindres semblables, aux carrés des diamètres; si les cylindres sont de même longueur, aux diamètres seulement.

Dans les sphères, les résistances sont entre elles comme les carrés des diamètres.

En un mot, dans les solides semblables les résistances instantanées à la compression sont, d'après M. Vicat, dans le rapport du carré des dimensions homologues; les rapports des résistances instantanées à l'écrasement du cylindre et de la sphère au cube circonscrit ont été trouvés moyennement par cet ingénieur de 0,799 pour le cylindre chargé debout; de 0,319 pour le même cylindre chargé en rouleau; de 0,255 pour la sphère inscrite.

Des expériences particulières pour chaque espèce de pierres peuvent seules faire juger exactement de leur résistance; les diverses qualités, comme la couleur plus ou moins foncée, la dureté, la pesanteur spécifique, etc., ne peuvent et ne doivent donner lieu qu'à des conjectures, qui quelquefois peuvent s'éloigner beaucoup de la vérité. Ainsi, quelques pierres dures ne doivent cette qualité qu'à leurs parties constituantes, mais si ces parties sont mal liées entre elles, la pierre se brise très-facilement; d'autres également dures et, de plus, homogènes, bien que susceptibles de supporter une grande pression, éclatent facilement si elles ne se sont pas pressées uniformément sur toute leur surface. Il suit de là qu'une pierre dure peut quelquefois se fendre ou s'éclater plus facilement qu'une pierre tendre, car il est bien rare que, dans les constructions, les pierres soient soumises à une pression partout uniforme.

56. Les pierres dures, d'agrégation compacte et homogène et à grain fin, soumises à une pression capable de les écraser, se divisent en lames ou en aiguilles verticales avant de se réduire en poussière. Dans les mêmes circonstances, les pierres tendres, d'agrégation moins homogène et moins compacte, et à grain moins fin, se divisent en fragments pyramidaux très-irréguliers, qui ont pour base les faces du solide et leur sommet au centre. Les deux pyramides verticales agissent comme des coins pour écarter les autres. Tous ces fragments se partagent ensuite en prismes verticaux, et tombent enfin en poussière.

57. Avant d'être chargées de tout le poids capable de produire l'écrasement, la plupart des pierres manifestent de légères fentes. Quand on a laissé agir pendant quelques jours sur une pierre une charge très-forte, mais cependant inférieure à celle qui produirait l'écrasement, il est à remarquer qu'il faut un poids moins considérable pour obtenir l'écrasement. On peut conclure de là que les constructions dans lesquelles les pierres supporteraient le tiers du poids capable de produire l'écrasement seraient très-hardies. La prudence commande de ne guère dépasser le dixième, au Panthéon à Paris on est allé jusqu'au huitième et même jusqu'au quart pour quelques espèces de pierres employées.

58. La résistance des pierres paraît augmenter dans un plus grand rapport que la surface de la base, cependant, pour les calculs à établir d'après les résultats des expériences faites en petit, il est plus simple en même temps que plus avantageux pour la solidité de l'ouvrage, de supposer les rapports égaux, c'est-à-dire d'admettre que le bloc d'une base double offre aussi une force double.

59. *Table des Résistances à la rupture par compression*

INDICATION DES MATIÈRES.	PESANTEUR spécifique.	RÉSISTANCE instantanée par centimètre carré.
		kilog.
Porphire.	2.87	2473
Marbre de Flandre.	2.63	1039
Marbre de Gênes.	2.70	357
Marbre noir de Flandre. . . .	2.72	788
Marbre blanc veiné.	2.70	298
Marbre blanc statuaire.	2.69	326
Marbre blanc turquin..	2.67	307
Marbre blanc italien, veiné.. .	2.73	687
Marbre blanc veiné de Brabant.	2.70	654
Marbre rouge de Devonshire. .		517
Pierre calcaire dure de Givry.	2.36	308
Id. tendre id. . .	2.07	115
Pierre calcaire blanche de Tonnerre.	1.71	103
Pierre de Caserte, près de Naples, qui reçoit le poli. . . .	2.72	594
Pierre noire de St.-Fortunat, employée à Lyon, très-dure et coquilleuse.	2.65	626
Calcaire du Jura.	3.00	600
Liais de Bagneux, près de Paris, très-dure, d'un grain fin.	2.44	444
Travertino de Rome, très-dur, d'un grain fin, persillé.. . .	2.33	197
Roche de Châtillon, près de Paris, dure, un peu coquilleuse.	2.29	173
Roche douce de Châtillon. . .	2.08	133
Roche d'Arcueil, près de Paris.	2.30	253
Calcaire jaune oolytique de Jaumont, près Metz,		
1re qualité.		180
2e id.		120
Calcaire jaune oolytique d'Amanvillers, près Metz,		
1re qualité.		120
2e id.		100

INDICATION DES MATIÈRES.	PESANTEUR spécifique.	RÉSISTANCE instantanée pa centimètre carré.
Roche vive de Saulny, près Metz (non rompue).	»	300
Roche jaune de Rozerceilles, près Metz (non rompue). . .	»	180
Calcaire bleu à gryphite donnant la chaux hydraulique de Metz (non rompu).	»	300
Pierre calcaire sablonneuse.. .	»	94
Piorre calcaire à tissu oolytique (globuleuse).	»	106
Pierre calcaire à tissu compacte (lithographique).	»	285
Pierre de Saillancourt, près de Pontoise,		
1re qualité.	2.41	141
2e id.	2.29	119
3e id.	2.10	92
Pierre ferme de Conflans près de Paris.	2.07	89
Pierre tendre ou lambourde, de Conflans.	1.82	56
Pierre à plâtre de Montmartre.	1.92	71
Vergelée des environs de Paris, tendre, d'un grain grossier résistant à l'eau.	1.83	59
Lambourde de qualité inférieure, tendre, résistant à l'eau.	1.56	22
PIERRES VOLCANIQUES.		
Basalte de Suède.	3.06	1912
Basalte d'Auvergne.	2.88	2377
Lave du Vésuve, dite piperno.	2.60	592
Lave grise des environs de Rome, dite piperino.	1.07	228
Lave tendre de Naples.	1.72	160
Tuf de Rome.	1.22	57
Scorie de volcan.	0.86	33
Pierre ponce.	2.64	34

INDICATION DES MATIÈRES.	PESANTEUR spécifique.	RÉSISTANCE instantanée par centimètre carré.
Grès de Fribourg.	2.20	100
GRANITS.		
Granite vert des Vosges. . . .	2.85	619
Granite gris de Bretagne. . . .	2.74	654
Granite de Normandie.	2.66	702
Granite gris des Vosges. . . .	2.64	423
Granite d'Aberdeen, bleu. . .	2.62	775
Granite à grains serrés, de Pélérhoad.	»	588
Granite de Cornouailles.. . . .	2.66	451
GRÈS.		
Grès très-dur, roussâtre. . . .	2.52	813
Grès blanc.	2.48	923
Grès tendre..	2.49	4
PIERRES ARGILEUSES.		
Pierre porc ou puante.	2.66	681
Pierre grise de Florence, à grains fins.	2.56	422
PIERRES SILICIEUSES.		
Pierre silicieuse de Dundée.. .	2.53	470
Pierre silicieuse de Branmifail, près Leyde.	2.51	420
Id. rouge et friable..	2.32	423
Pierre à chaux, noire et compacte de Lemerick.	2.60	628
Chaux..	»	36
BRIQUE.		
Brique de Stourbrige.	»	122
Id. de St.-Ammersmith .	»	71
Id. brûlée.	»	102
Id. rouge.	2.17	56
Id. rouge pâle.. .	2.08	36
Id. crue ou argile séchée à l'air libre.	»	33
Plâtre ordinaire gâché ferme .	»	90

INDICATION DES MATIÈRES.	PESANTEUR spécifique.	RÉSISTANCE instantanée par centimètre carré.
Plâtre moins ferme que le précédent.	»	42
Id. gâché à l'eau.	»	49
Id. gâché au lait de chaux. .	»	72
Mortier en chaux grasse et sable ordinaire âgé de 14 ans. .	»	19
Mortier en chaux hydraulique ordinaire.	»	74
Mortier en chaux éminemment hydraulique.	»	144
Mortier de chaux et sable de rivière.	1.63	30
Le même battu.	1.89	41
Mortier de chaux et sable de mine.	1.59	40
Le même battu.	1.90	56
Mortier au grès pilé.	1.68	29
Mortier de ciment de tuileaux.	1.46	47
Le même battu.	1.66	65
Mortier de pouzzolanes de Naples et de Rome.	1.46	36
Le même battu.	1.68	53
Enduit d'une conserve antique des environs de Rome. . . .	1.55	76
Enduit au ciment des démolitions de la Bastille.	1.49	54
Bois de chêne.	»	*425
Id. de sapin.	»	502
Chêne anglais.	»	272
Sapin blanc.	»	135
Pin d'Amérique.	»	113
Orme.	»	90
Fer forgé (au commencement de la compression).	»	4945
Fer fondu.	»	10075
Métal de canon.	»	25187
Cuivre coulé.	»	8233

*Pour que la surface ne cède pas sensiblement, la pression ne doit pas dépasser 160 à 200 kilogrammes.

60. Dans les constructions les plus hardies, dont le temps a garanti la solidité, la charge permanente n'excède guère un sixième de la résistance instantanée ou du poids qui a produit l'écrasement, et cette limite est même trop élevée, l'expérience a fixé pour les diverses sortes de matériaux la table suivante des forces permanentes.

Pierres, briques.	0.10	de la résistance instantanée pour les matériaux de fortes dimensions.
	0.07 à 0.05	Pour les petits matériaux ou pour les supports isolés dont la hauteur est très-grande par rapport à la hauteur.
Bois.	0.10	de la résistance instantanée.
	0.08	quand la longueur de la pièce est égale à 12 fois l'épaisseur.
	0.05	si la longueur est égale à 24 fois l'épaisseur.
	0.04	pour la largeur égale à 36 fois.
	0.02	pour 48 fois.
	0.01	pour 60 fois.
	0 00	pour 72 fois.

D'après Rondelet à qui est due la table précédente pour le bois, une pièce de bois chargée verticalement est susceptible de plier lorsque la hauteur surpasse 10 fois l'épaisseur, d'où il suit que dans la plupart des cas qui se présentent dans la pratique, la résistance doit être déterminée par la considération seule du poids qui pourrait écraser la pièce.

Fer forgé.	0.20	de la résistance instantanée.
	0.14	quand la longueur égale 12 fois l'épaisseur.
	0 10	quand la longueur égale 24 fois l'épaisseur.
Fer fondu.	0.20	de la résistance instantanée.
	0.13	quand la longueur égale 4 fois l'épaisseur.
	0.10	pour une longueur égale à 8 fois l'épaisseur.
	0.013	pour une longueur égale à 36 fois l'épaisseur.

61. Pour le bois, le fer forgé et la fonte, on peut calculer la charge pour l'unité superficielle de la section transversale qui commencerait à produire la flexion, lorsque la longueur des pièces dépasse vingt fois l'épaisseur, ou la plus petite dimension du rectangle, par les formules suivantes, dans lesquelles a représente l'épaisseur, l la longueur de la pièce et P la charge.

$P = 0{,}822465\ E\ \frac{a^2}{l^2}$ pour une section ab on aurait :

$$P = 0,82\frac{ba^3}{l^2}$$

La valeur du coefficient d'élasticité E est donnée pour chaque matière au paragraphe ci-après.

Pour les pièces circulaires on aurait la formule suivante :

$$P = 0,1685\,E\frac{d^4}{l^2}$$

Dans les applications on prendra 0,1 P pour le bois, 0,2 P pour le fer et la fonte.

RÉSISTANCE A LA RUPTURE PAR EXTENSION.

62. Les résistances à la rupture par extension sont proportionnelles aux sections perpendiculaires à l'axe du tirage, pour les solides de même matière.

Si, par des obstacles artificiels, on oblige la matière à se rompre suivant des sections planes, inclinées sur la direction du tirage, on remarque que, jusqu'au 45° d'inclinaison, les résistances restent sensiblement proportionnelles aux aires des sections ; pour une inclinaison plus forte sur l'axe du tirage, elles augmentent dans une proportion plus forte que l'aire des sections.

63. *Table des résistances instantanées au tirage ou des résistances à la rupture par extansion.*

NOMS DES SUBSTANCES.	RÉSISTANCE à la rupture par extension, pour un centimètre carré.	ALLONGEMENT possible sans altération d'élasticité	Poids par centimètre carré produisant cet allongement.
	kil.		
Pierre blanche d'un grain fin.	14.4		
Brique de Provence bien cuite.	19		
Pierre calcaire de Portland.	60		
Plâtre.	4.9		
Force d'adhérence du plâtre aux briques et aux pierres.	2.67		
— aux pierres normalement au plan de rupture.	1.60		
— parallèlement au plan de rupture.			
Adhérence du plâtre avec le fer..	14		
— avec le bois très-faible.. .	4		
Mortier..	9.60		
Mortiers bien faits au sable quartzeux, chaux éminemment hydraulique..	6		
Id. chaux hydraulique ordinaire.	3.60		
Id. chaux communes.. . .	1.50		
Mortiers mal faits.	600		
Bois de chêne, tiré dans le sens des fibres..	981	0.00167	200
Chêne. . . . . 1°.	647		
Chêne. . . . . 2°.	812		
Bois de sapin 1°.	910		
Bois de sapin 2°.	812	0.00113	127
Frêne. . . . . 1°.	1210		
Frêne. . . . . 2°.	1190		
Hêtre.	806		
Tremble.	650		

NOMS DES SUBSTANCES.	RÉSISTANCE à la rupture par extension pour un centimètre carré.	ALLONGEMENT possible sans altération d'élasticité	Poids par centimètre carré produisant cet allongement.
	kil.		
Orme.	1000	0.00242	235
Melesse ou Larix.	»	0.00192	173
Sapin jaune ou blanc.	»	0.00117	217
Sapin rouge ou pin.	»	0.00210	315
Teack.	1100		
Acajou.	560		
Buis.	1400		
Poirier.	700		
Chêne tiré perpendiculairement à la direction des fibres.	162		
Peuplier id.	125		
Larix id.	119		
Tremble latéralement aux fibres ou par glissement.	57		
Sapin latéralement aux fibres ou par glissement.	42		
Fer forgé ou étiré en barres — Le plus fort de petit échantillon.	6000	0.00090	1800
Fer forgé ou étiré en barres — Le plus faible de gros échantillon.	2500		
Fer forgé ou étiré en barres — Moyen.	4250		
Fer dit ruban très-doux.	4500		
Fil de fer non recuit — de l'aigle employé à la carderie de 0mm.23 de diamètre.	9000		
Fil de fer non recuit — Le plus fort de 0mm.40 de diamètre.	8000		
Fil de fer non recuit — Le plus faible d'un grand diamètre.	5000		
Fil de fer non recuit — Moyen de 1 à 3mm. de diamètre.	6000	0.00090	1800

NOMS DES SUBSTANCES.	RÉSISTANCE à la rupture par extension pour un centimètre carré.	ALLONGEMENT possible sans altération d'élasticité	Poids par centimètre carré produisant cet allongement.
	kil.		
Fil-de-fer recuit..........	3600	0.00054	1080
Fils-de-fer en faisceau ou cables..............	3000		
Chaînes en fer doux à maillons oblongs.........	2400		
Id. renforcées par des étançons............	3200		
Fonte de fer grise. La plus forte coulée verticalement...	1350		
Fonte de fer grise. La plus faible coulée horizontalement.	1250		
Acier blistered.........	2790		
— fondu...........	4400		
— id............	9440		
— blister..........	9362	0.00220	6600
— shear..........	8975		
Métalal de canon dur.....	2559		
Bronze de canon fondu....	»	0.00104	730
Cuivre battu...........	2482		
— rouge fondu......	1341		
— jaune fin.......	1263		
— rouge laminé......	2110		
Cuivre rouge en fils non recuits. Le plus fort au-dessus d'un millimètre de diamètre..	7000		
Cuivre rouge en fils non recuits. Moyen de 1 à 2mm.	5000		
Cuivre rouge en fils non recuits. Le plus mauvais...	4000		
Cuivre jaune ou laiton en fils non recuits. Le plus fort au-dessus de 1mm. de diamètre.....	8500		
Cuivre jaune ou laiton en fils non recuits. Moyen au-dessus de 1mm.........	5000	0.00170	1500
Fil de laiton recuit......	»	0.00135	1500
Laiton fondu..........	»	0.00075	480

NOMS DES SUBSTANCES.	RÉSISTANCE à la rupture par extension pour un centimètre carré.	ALLONGEMENT possible sans altération d'élasticité	Poids par centimètre carré produisant cet allongement.
	kil.		
Fil de platine écroui non recuit, de 0m.127 de diamètre.	11600		
Fil de platine écroui, recuit d'après la mesure directe du diamètre..	3400		
Etain fondu.	332	0.00063	200
Zinc fondu..	600	0.00024	230
Zinc laminé.	500		
Plomb fondu.	128	0.00210	100
Plomb laminé.	135		
Fil de plomb de coupelle, fondu, puis passé à la filière, ayant 4mm. de diamètre.	130	0.00067	40
Tôle tirée dans le sens du laminage.	4080		
Tôle tirée perpendiculairement au sens du laminage.	3640		
Verre.	248		

64. Les cordages peuvent porter un poids P donné par la formule

$$P = 0{,}75\, R\, \pi\, d^2$$

d représente le diamètre exprimé en centimètres; R = 400, mais pour une charge permanente il ne faudrait prendre que 130. Ce qui fait 4k06 par millimètre carré.

Le poids d'un mètre courant de corde est égal à 0k815 d^2.

Les cordages s'allongent beaucoup avant que leur élasticité soit altérée, et beaucoup encore après l'altération, ce qui permet de prévoir les ruptures. Cet allongement varie de 0,07 à 0,27.

65. Pour déduire les charges permanentes des résistances instantanées qui précèdent, on remarquera que l'on ne doit

pas soumettre les pierres et généralement tous les autres matériaux à une charge permanente qui excède le dixième de la résistance instantanée. Du reste il n'y a guère que le bois, le fer et la fonte qui, dans les constructions, soient soumis à l'extension.

66. Pour quelques-unes des matières indiquées dans la table précédente, nous avons donné, d'après divers auteurs, l'allongement maximum qu'elles peuvent supporter sans altération, et à la dernière colonne le poids par centimètre carré qui produit cet allongement. De sorte que les nombres compris dans cette dernière colonne sont un maximum de la charge permanente qu'il ne serait pas prudent d'atteindre.

67. Les barres de fer ne doivent pas en général être chargées d'une manière permanente d'un poids excédant le sixième ou le septième de la résistance instantanée. Quand cette charge se compose d'une portion permanente et d'une portion accidentelle, on peut aller jusqu'au cinquième et même jusqu'au quart.

68. Pour la fonte il n'y aurait aucune sécurité à atteindre le quart, surtout dans des constructions exposées à des secousses; on ne devrait pas alors dépasser le dixième. Enfin pour le bois la charge permanente ne doit pas être supérieure au cinquième de la résistance instantanée.

RÉSISTANCES

Transverses instantanées ou résistances à la rupture par glissement.

69. Quand il s'agit d'un même corps homogène que l'on veut rompre, en faisant glisser une partie sur l'autre, on éprouve une résistance tellement difficile à vaincre qu'il est impossible de citer un seul cas où cette espèce de rupture se soit présentée.

La considération de ces résistances n'a donc d'intérêt pour le constructeur qu'autant qu'on regarde comme étant de même nature les résistances qu'opposent au glissement les matériaux entre lesquels se trouvent interposés des lits de plâtre ou de mortier; dans ce cas, il faut distinguer de quelle manière la rupture a lieu : si les pierres se détachent du plâtre, c'est l'adhérence qui est vaincue; si la rupture a lieu dans l'intérieur de la couche de mortier, c'est la cohésion de cette matière qui est détruite.

On conçoit que ces résistances doivent être proportionnelles à l'étendue des surfaces en contact, cependant le peu d'expériences que l'on a sur ce sujet présentent quelques variations à cet égard, que l'on pourrait peut-être expliquer en remarquant que la dessiccation des mortiers est d'autant plus difficile et moins parfaite que ces surfaces sont plus étendues. Du reste ces résistances présentent une grande différence suivant la nature du mortier employé et les circonstances dans lesquelles il se trouve placé : ainsi le mortier de ciment qui desséché à l'air présente une résistance beaucoup moindre que celle du mortier de sable, se trouve au contraire avoir une grande supériorité quand on les immerge l'un et l'autre aussitôt après l'emploi, il présente alors une résistance environ neuf fois plus grande, c'est-à-dire de 10,400 k.; tandis que le mortier à sable ne donne plus que 1,200 k.

70. *Table des Résistances à la rupture par glissement dues à l'adhérence ou à la cohésion des mortiers.*

NATURE des pierres et de la matière interposée.	SURFACE en contact. Déci-mètres carrés.	TEMPS du contact, en jours.	RÉSISTANCE par mètre carré. Kilo-grammes.
Expériences de M. Boistard.			
Calcaire bouchardé sur la base, sans ciselure au pourtour, fiché sur une dalle en pierre semblable.	1.17	16	6600
	1.17	16	6200
	2.34	16	7100
	2.34	16	7000
1° Avec mortier de chaux grasse et sable fin.	3.51	16	7500
	3.51	16	8050
	4.68	16	9600
2° Avec mortier de chaux grasse et ciment.	1.17	16	4600
	3.51	16	4650
	4.68	16	4850
	4.68	16	5700
Expériences de M. Morin.			
Calcaire tendre de Jaumont fiché sur même calcaire avec mortier en chaux hydraulique de Metz et sable fin.	1 à 2	83	18000
	2 à 3	48	12000
	2 à 3	48	10000
	4 à 6	48	10000
	7 à 8	48	9400
Briques ordinaires fichées avec le même mortier.	1.30	48	14000
	2.60	48	10000
Calcaire de Jaumont avec plâtre.	2.00	48	22000
	8.00	48	28000
Calcaire bleu à gryphite, très-lisse sur même, avec plâtre.	2.05	48	11000
	4.05	48	20000

RÉSISTANCE A L'ARRACHEMENT.

71. Lorsqu'une tige est scellée ou retenue dans un milieu solide par une tête, de manière à ne pouvoir se dégager sans entraîner une portion du milieu dans lequel elle est engagée, ce milieu offre une résistance que M. Vicat a nommée résistance d'arrachement. Dans les expériences qu'il a faites à ce sujet, la portion arrachée par la tige affectait la forme d'une espèce de solide conique tronqué dont le sommet est du côté de la tête de la tige et la base du côté de l'extrémité, la génératrice s'appuyant sur les deux circonférences est une ligne convexe du côté de l'axe. La résistance à l'arrachement pour une même tige est proportionnelle à la profondeur du scellement; et, pour deux tiges ayant des têtes de grosseur différente, cette résistance serait proportionnelle aux produits du diamètre des têtes par les profondeurs de scellement.

DE LA RÉSISTANCE DES CORPS

A la flexion produite par un effort dirigé perpendiculairement à leur longueur.

72. Les tables précédentes indiquent les limites des efforts que peuvent supporter les pièces par compression et par extension. Mais souvent ces efforts, au lieu d'agir directement et de comprimer ou d'étendre, font fléchir les pièces. Il s'agit maintenant de se rendre compte de cet effet.

Nous avons déjà dit que dans la flexion, certaines fibres s'allongent et que d'autres s'accourcissent. Lorsque les allongements et les accourcissements sont très-petits, ils demeurent proportionnels à l'effort qui les produit. En admettant en outre que les fibres opposent à l'allongement et à l'accourcissement des résistances proportionnelles aux quantités dont la longueur de ces fibres varie, le calcul indique que la résistance à la flexion est *proportionnelle* aux expressions suivantes désignées par F.

1° Pour un prisme, à section rectangle, dont a et b représentent la largeur et la hauteur, ou bien les côtés du rectangle.

$$F = E \frac{ab^3}{12}$$

2° Pour un prisme (fig. 6) à section formée de deux triangles rectangles égaux, dont les côtés horizontal et vertical de l'angle droit sont p et q

$$F = E \frac{pq^3}{6}$$

3° Pour un prisme à basse carrée, dont a représente le côté

$$F = E \frac{a^4}{12}$$

4° Pour un cylindre dont le rayon est r

$$F = E \frac{\pi r^4}{4}$$

Le côté du carré circonscrit au cercle étant $2r$, la résistance du prisme circonscrit au cylindre serait proportionnelle (*voir* n° 3) à $E \frac{4r^4}{3}$, elle est donc à celle du cercle dans le rapport de 1 à $\frac{3\pi}{16}$ ou de 1 à 0.59.

5° Pour un tuyau dont r' *et* r'' sont les rayons extérieurs et intérieurs

$$F = E \frac{\pi (r'^4 - r''^4)}{4}.$$

6° Pour une pièce rectangulaire, creuse, ou de la forme d'un double T (*voir* fig. 42 et 43);

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Fig. 42, } AB = a,\ AC = b,\ DE = a',\ DF = b' \\ \text{Fig. 43, } AB = a,\ AC = b,\ DE + de = a',\ DF = b' \end{array} \right\}$$

$$F = E \frac{ab^3 - a'b'^3}{12}.$$

Si dans la figure 43 on ne voulait pas tenir compte de la partie intermédiaire qui établit la solidarité des parties extrêmes, par exemple, lorsque cette solidarité est établie au moyen de croix de St.-André, on ne compte pas sur la résistance à la flexion de la croix, alors on fait $a = a'$ et l'on a

$$F = E \frac{a(b^3 - b'^3)}{12}.$$

7° Pour une section en forme de croix, fig. 44, dans laquelle $Cc = a$, $CD = b = AB$,

$$F = E \frac{ab^3 + a^3b - a^4}{12},$$

La résistance à la flexion est la même dans tous les sens.

8° Pour une pièce à section de la forme indiquée fig. 45, dans laquelle on a :

$$AB = CD = b,\ A'B' = A'C' = b',\ Aa = Cc = a,$$

$$F = E\,\frac{b'^4 + (b^3 - b'^3)\,a + (b - b')\,a^3}{12},$$

La résistance à la flexion est la même dans toutes les directions.

9° Pour une section de la forme représentée par les figures 46 et 47, dans lesquelles a et b' représentent la largeur et la hauteur du rectangle horizontal, a' la largeur du rectangle ou des deux rectangles verticaux, et b, la hauteur totale des figures, on a :

$$F = \frac{E}{3}\left\{ az^3 - (a - a')\,(z - b')^3 + a'\,(b - z)^3 \right\}$$

pour déterminer la quantité z, on a :

$$z = \frac{1}{2} \cdot \frac{ab'^2 - a'b'^2 + a'b^2}{ab' - a'b' + ab}.$$

10° Pour une section octogonale, fig. 47 *bis*, on a :

$$F = \frac{E}{12}\left\{ a'b^3 + \frac{1}{4}\,\frac{a - a'}{b - b'}\,(b^4 - b'^4) \right\}$$

En coupant cette figure en deux parties égales, appliquant les côtés a' l'un sur l'autre et rendant les parties solidaires, on aurait :

$$F = \frac{E}{12}\left\{ ab^3 - \frac{1}{4}(a - a')\,(b - b')^3 \right\}$$

quantité évidemment plus grande que la précédente.

73. Les expressions qui précèdent permettent de calculer de combien s'abaisserait un solide, ayant l'une de sections considérées, soutenu sur des points d'appui de niveau ou encastré horizontalement, et sollicité par un effort vertical.

Nous allons considérer quelques-uns des principaux cas et donner pour chacun la flèche du plus grand abaissement, c'est-à-dire, la quantité la plus grande dont s'abaisse le solide ; f désigne cette flèche, F les expressions qui précèdent, l la longueur des solides encastrés ou la moitié de l'intervalle entre les appuis.

1° Un solide encastré horizontalement, fig. 21, et chargé

à l'autre extrémité d'un poids P, s'abaisserait à cette extrémité d'une quantité f donnée par l'expression :

$$(1) \qquad f = \frac{P}{F} \cdot \frac{l^3}{3}.$$

Exemple : Supposons que l'on veuille savoir de combien fléchirait une barre de fer carrée de 10 millimètres de côté, de 1m.20 de longueur, encastrée horizontalement à l'une de ses extrémités, chargée à l'autre d'un kilogramme ; pour le fer,

$$E = 20{,}000{,}000{,}000, \text{ ainsi } F = 20{,}000{,}000{,}000 \frac{(0{,}010)^4}{12},$$

$$\text{et} \quad f = \frac{1 \text{ k. } (1{,}2)^3 \times 12}{20{,}000{,}000{,}000. \ (0{,}010)^4 \times 3} = 0^m.0345.$$

2° Si, au lieu d'être encastré, le solide est posé horizontalement sur deux appuis, fig. 22, le calcul donne alors, en désignant par :

2 P le poids suspendu au milieu.

$$(2) \qquad f = \frac{P}{F} \cdot \frac{l^3}{3} = \frac{2P}{F} \cdot \frac{(2l)^3}{48}.$$

3° Si le solide, encastré horizontalement, est chargé uniformément dans toute sa longueur, de poids égaux, dont la somme est p pour l'unité linéaire, et pl pour la longueur l, on a :

$$(3) \qquad f = \frac{pl}{F} \cdot \frac{l^3}{8};$$

Ce cas comprend celui où pl serait précisément le poids du solide lui-même.

Exemple : Considérons une barre de même dimension que précédemment, dont le poids est 0k.93, on aura :

$$f = 0{,}012;$$

Si l'on mettait le poids 0k.93 à l'extrémité de la barre, l'abaissement serait plus fort dans le rapport de 8 à 3.

4° Lorsque le solide, chargé comme nous venons de le dire, est posé horizontalement sur deux appuis, on a :

$$(4) \qquad f = \frac{pl}{F} \cdot \frac{5l^3}{24};$$

On voit que la flèche, dans ce cas, n'est que les 5/8 de

ce qu'elle serait (nº 2), si le poids pl était suspendu au milieu.

5º Un solide posé horizontalement sur deux appuis, chargé uniformément et de plus d'un poids P à l'extrémité, fig. 21 *ter*, s'abaissera d'une quantité :

$$(5) \qquad f = \frac{P}{F} \cdot \frac{l^3}{3} + \frac{pl}{F} \frac{l^3}{8}.$$

6º Un solide posé horizontalement sur deux appuis, chargé uniformément et de plus d'un poids 2 P au milieu, fig. 22 *ter*, s'abaissera au point milieu d'une quantité :

$$(6) \qquad f = \frac{P}{F} \cdot \frac{l^3}{3} + \frac{pl}{F}, \frac{5l^3}{24}.$$

7º Un solide posé horizontalement sur deux appuis et chargé en un point quelconque, à la distance z du milieu, fig. 23, s'abaissera au point où est appliqué le poids 2 P d'une quantité :

$$(7) \qquad f = \frac{P}{F} \cdot \frac{(l^2 - z^2)^2}{3l}.$$

8º Un solide, fig. 24, posé horizontalement sur deux appuis et chargé uniformément sur une portion 2 l' seulement de la longueur, s'abaissera au point milieu de la partie chargée, point que nous supposons à la distance z du milieu du solide, d'une quantité :

$$(8) \quad f = \frac{pl'}{F}\left(\frac{(2l^2 - 2z^2 - l'^2)(l^2 - z^2)}{6l} + \frac{l'^3}{24}\right).$$

9º Un solide encastré horizontalement à une extrémité, posé à l'autre sur un appui au niveau de l'encastrement et chargé d'un poids 2 P placé à la distance z du point B, fig. 25, s'abaissera d'une quantité :

$$(9) \qquad f = \frac{P}{F} \cdot \frac{z^2}{3}(2l - z)\sqrt{\frac{2l - z}{6l - z}};$$

Dans ce cas, ce n'est pas au point où est placé le poids que l'abaissement est le plus grand, mais en un point situé à droite du point B, et à une distance de ce point donnée par l'expression :

$$2l\left(1 - \sqrt{\frac{2l - z}{6l - z}}\right)$$

Quand le poids 2 P est placé au milieu de l'intervalle des appuis.

$$f = \frac{P}{F} \cdot \frac{l^3}{3\sqrt{5}}$$

Et le point du plus grand abaissement se trouve sur la verticale située à une distance de B donnée par l'expression :

$$2l\left(1 - \frac{1}{\sqrt{5}}\right)$$

Le point milieu où nous supposons placé le poids 2 P, s'abaisserait d'une quantité,

$$\frac{P}{F} \cdot \frac{7l^3}{48},$$

Dans le cas du n° 2, ci-dessus, cet abaissement au point milieu est de

$$\frac{P}{F} \cdot \frac{16l^3}{48};$$

quand le solide est encastré par une extrémité, le solide s'abaisse donc moins, dans le rapport de 7 à 16.

10° Un solide encastré horizontalement aux deux extrémités et chargé au milieu du poids 2 P, fig. 26, s'abaissera au point milieu d'une quantité.

$$(10) \qquad f = \frac{P}{F} \cdot \frac{l^3}{12};$$

Comparée à l'expression du n° 2 ci-dessus, cette valeur fait voir que la flèche de courbure est quatre fois moindre quand le solide est encastré, que lorsqu'il est simplement posé.

74. Les calculs qui précèdent reposent sur la connaissance de la quantité que nous avons désignée par E ; le tableau suivant l'indique pour les matières généralement employées dans les constructions.

Table des Valeurs du Coëfficient d'élasticité de différentes substances employées comme matériaux dans les constructions.

NOMS DES SUBSTANCES.	COEFFICIENT d'élasticité E.
Chêne	1 012 000 000 1 688 000 000 1 300 000 000
Chêne anglais	1 014 000 000
Id.	614 000 000
Chêne du Canada	1 510 000 000
Chêne de Dantzick	837 000 000
Chêne de l'Adriatique	683 000 000
Sapin	1 029 000 000 1 300 000 000 934 000 000
Sapin de la Nouvelle-Hollande	1 047 000 000.
Sapin de Riga	934 000 000
Id.	696 000 000
Frêne	1 156 000 000
Hêtre	952 000 000
Orme	970 000 000
Pin rouge	1 297 000 000
Meleze ou larix	930 000 000
Fer en fil ou en barre { doux ou recuit	20 000 000 000
Fer en fil ou en barre { fort ou non recuit	20 000 000 000
Acier ordinaire trempé et recuit	21 000 000 000
Acier anglais fondu de première qualité	30 000 000 000
Acier fortement trempé, très-fragile	11 000 000 000
Fonte grise	9 029 000 000
Fonte douce	10 653 000 000 12 000 000 000
Fil de laiton recuit	10 000 000 000
Laiton fondu	6 450 000 000

NOMS DES SUBSTANCES.	COEFFICIENT d'élasticité E.
Bronze de canon fondu.........	7 000 000 000
Zinc fondu..................	9 600 000 000
Etain anglais fondu...........	3 200 000 000
Fil de plomb de Coupelle étiré à froid de 4 millimètres de diamètre....	600 000 000
Fil de plomb du commerce étiré à froid, de 6 millimètres de diamètre....	800 000 000
Plomb fondu ordinaire.........	500 000 000

75. *De la résistance des corps à la rupture produite par un effort dirigé perpendiculairement à la longueur.*

Nous avons vu, dans la flexion des corps, que certaines fibres sont allongées, d'autres accourcies; la rupture a lieu quand les plus allongées ne peuvent plus l'être davantage sans se séparer, et quand les fibres comprimées ne peuvent plus l'être davantage sans s'écraser.

En admettant que les résistances des fibres, à l'instant où la rupture va s'opérer, sont encore proportionnelles aux extensions et compressions de ces fibres, comme elles le sont dans le cas d'une flexion très-petite, le calcul démontre que les résistances des pièces à la rupture sont proportionnelles aux quantités suivantes, dans lesquelles R désigne la force nécessaire pour rompre un prisme dont la section transversale est l'unité superficielle, en tirant dans le sens de la longueur.

1° Pour un prisme rectangulaire dont a et b sont la largeur et l'épaisseur.

(1) $$G = R.\frac{ab^2}{6}$$

2° Pour un prisme à section formée de deux triangles rectangles égaux, fig. 6.

(2) $$G = R.\frac{pq^2}{6}$$

3° Pour un prisme à base carrée, fléchi dans le sens des diagonales dont a est le côté.

(3) $$G = R. \frac{a^2}{6\sqrt{2}}$$

4° Pour un cercle dont r est le rayon.

(4) $$G = R. \frac{\pi r^2}{4}$$

5° Pour un tuyau dont r' et r'' sont les rayons extérieur et intérieur.

(5) $$G = R. \frac{\pi (r'^4 - r''^4)}{4r'}$$

Un cylindre qui aurait même section transversale qu'un tuyau, la résistance à la rupture serait exprimée par

$$G = R. \frac{(r'^2 \frac{2}{} r''^2)\frac{3}{2}}{4}$$

puisque par hypothèse $\pi r^2 = \pi (r'^2 - r''^2)$. Ainsi les résistances du tuyau et du cylindre sont dans le rapport de

$$(r'^2 - r''^2)\frac{3}{2} \text{ à } \frac{r'^4 - r''^4}{r'}$$

En donnant des valeurs à r' et r'', on verra que la résistance du tuyau est plus grande que celle du cylindre de même section.

6° Pour un tuyau rectangulaire ou une section de la forme de deux T opposés, fig. 42 et 43.

$$\begin{cases} \text{Fig. 42. } AB = a, AC = b, DE = a', DF = b' \\ \text{Fig. 43. } AB = a, AC = b; DE + de = a', DF\ b' \end{cases}$$

(6) $$G = \frac{R}{6} \frac{ab^2 - a'b'^2}{b}$$

Si l'on ne voulait pas tenir compte de la résistance de la partie intermédiaire, il faudrait faire $a'' = a$

7° Pour une section en forme de croix,

Fig. 44. $Cc = a, CD = b = AB,$

chargée dans le sens des côtés :

$$(7) \qquad G = \frac{R}{6} \cdot \frac{ab^3 + a^3b - a^4}{b}$$

chargée dans le sens de la diagonale du carré circonscrit.

$$(7\ bis) \qquad G = \frac{R\sqrt{2}}{6} \cdot \frac{b^3a + ba^3 - a^4}{b + a}$$

8° Pour une pièce à section de la forme indiquée, fig. 45, dans laquelle on a

$$AB = CD = b,\ A'B' = A'C' = b',\ Aa = Cc = a$$

chargée dans le sens des côtés :

$$(8) \qquad G = \frac{R}{6} \frac{b'^4 + (b^3 - b'^3)\,a + (b - b')\,a^3}{b};$$

chargée dans le sens de la diagonale du carré circonscrit :

$$(8\ bis) \qquad G = \frac{R\sqrt{2}}{6} \cdot \frac{b'^4 + (b^3 - b'^3)\,a + (b - b')\,a^3}{b + a}.$$

9° Pour une section de la forme représentée par les figures 46 et 47, dans lesquelles a et b' représentent la largeur et la hauteur du rectangle horizontal, a' l'épaisseur du rectangle ou des rectangles verticaux, on a

$$(9) \qquad G = \frac{R}{3} \cdot \frac{az^3 - (a - a')(z - b')^3 + a'(b - z)^3}{b - z};$$

z a la même valeur qu'au paragraphe 62.

10° Pour une section octogonale, fig. 47 *bis*.

$$(10) \qquad G = \frac{R}{6}\left(a'b^2 + \frac{1}{4} \cdot \frac{a - a'}{b - b'} \cdot \frac{b^4 - b'^4}{b}\right).$$

En coupant cette figure en deux parties égales appliquant les côtés a' l'un sur l'autre, fig. 47 *ter*, et rendant les deux parties solidaires, on aura

$$(10\ bis) \qquad G = \frac{R}{6}\left(ab^2 - \frac{1}{4} \cdot \frac{a - a'}{b}\,(b - b')^2\right);$$

Cette expression est toujours plus grande que la précédente.

76. Les côtés du rectangle inscrit dans un cercle dont le diamètre est d, qui donnent le maximum de résistance à la rupture, sont $\frac{d}{\sqrt{3}}$ et $\frac{d}{\sqrt{3}} + \sqrt{2}$. Ainsi, quand on veut tirer d'un arbre d'un mètre de diamètre, une poutre offrant la plus grande résistance possible, on doit lui donner 0,58 de largeur, et 0,82 de hauteur ; pour un diamètre de quarante centimètres, les dimensions seront de 0,23 et 0,33.

On pourrait se demander quel est le rapport des côtés du rectangle qui donne la plus grande résistance à la rupture. Celle-ci, étant proportionnelle à R $\frac{ab^2}{6}$, peut se mettre sous la forme $\frac{Rs}{6} \cdot b$ en représentant par s la section que nous supposons invariable, et on voit qu'il croîtra indéfiniment en même temps que b. Les limites de cette dimension sont données par la considération que le prisme ne puisse fléchir transversalement.

77. Lorsqu'on veut inscrire dans un cercle l'octogone, on a entre les côtés désignés a, a', b, b' les relations :

$$b^2 + a'^2 = b'^2 + a^2 = d^2$$

qui déterminent deux de ces quatre côtés en fonction des deux autres, on peut se donner arbitrairement l'un de ces derniers et déterminer le troisième, de manière à ce que la résistance à la rupture soit la plus grande possible.

Pour un octogone inscrit dans un cercle de 1 mètre de diamètre, on trouve, en prenant $a' = 0.25$, d'où il résulte que $b = 0,97$, qu'il faut faire $a = 0,77$, d'où il suit que $b = 0,64$, pour avoir le maximum de résistance à la rupture. Cette résistance est représentée par

$$B \times 0,0890$$

ainsi qu'on peut le vérifier en mettant les nombres ci-dessus dans l'expression (10).

Si, au lieu de considérer la résistance à la rupture de la section octogonale représentée par la figure 47 *bis*, nous nous occupons maintenant de celle de la figure 47 *ter*, que nous supposons provenir d'un octogone inscrit, de sorte que l'on a toujours $b^2 + a'^2 = b'^2 + a^2 = d^2$, et qu'après s'être donné a' arbitrairement nous cherchions la valeur de a qui rendrait cette résistance un maximum, bien entendu que

nous admettons qu'après le sciage et le renversement, les deux parties ont été rendues solidaires, on trouve que si l'on fait $a' = 0{,}25$, d'où il suit que $b = 0{,}97$, on doit avoir pour la valeur de a qui rend un maximum, l'expression 10 *bis* $a = 955$, d'où résulte $b' = 0{,}29$, alors la résistance à la rupture est

$$R \times 0{,}1406.$$

La résistance à la rupture du cercle ayant un mètre de diamètre serait

$$R \times 0{,}0982.$$

Celle du rectangle inscrit dans les meilleures conditions (*voir* § 69) serait

$$R \times 0{,}0650.$$

En comparant les résistances, 1° du cercle ; 2° du rectangle inscrit ; 3° de l'octogone inscrit ; 4° de la section 47 *ter* résultant d'un octogone inscrit, on trouve qu'elles sont entre elles respectivement comme les nombres

982, 650, 890, 1406,

les aires de ces sections étant :

$0^{mq},785$, $0^{mq},476$ $0^{mq},661$, $0^{mq},687$

Ou bien ramenant tout à l'unité de superficie, les mêmes résistances sont comme les nombres

1,000, 1,092, 1,076, 1,637.

Les rapports qui précèdent sont établis pour un cercle dont le diamètre est égal à l'unité, mais ils restent les mêmes, quel que soit le diamètre, si l'on fait varier les côtés des rectangles et octogone, proportionnellement au diamètre.

Pour passer des résistances à la rupture que nous venons de donner à celles relatives aux sections semblables inscrites dans un cercle dont le diamètre serait d', il suffirait de les multiplier par $\frac{d'^3}{1}$ ou d'^3, c'est-à-dire par le cube du rapport des diamètres.

On voit par les nombres précédents, que la section polygonale résultante de l'octogone inscrit, est celle qui, pour la même dépense, offre le plus de résistance à la rupture. Comparée au rectangle inscrit, qui est la section en usage, elle présente un avantage de plus de 50 pour cent. Cette section est adoptée dans quelques localités, mais le plus souvent sans discernement, on place verticalement les faces diamétrales au

lieu de les placer horizontalement, ainsi qu'il faudrait le faire pour obtenir plus de résistance à la rupture dans le sens vertical.

78. De la connaissance de la résistance à la rupture des sections ou bases de fracture que nous venons de considérer, on peut déduire le poids, qui ferait rompre les corps prismatiques ou cylindriques ayant l'une de ces sections pour base.

Quand un corps prismatique ou cylindrique est chargé perpendiculairement à sa direction, d'un poids tendant à produire la flexion et puis la rupture, toutes les sections transversales de ce corps ne sont pas également fatiguées; la rupture tend à se produire dans une ou plusieurs de ces sections, suivant la manière dont le corps est soutenu.

Quand on a déterminé la position de ces bases de fracture, il ne reste qu'à calculer la puissance de rupture du poids ou de l'effort transversal, sur ces bases et à l'égaler à la résistance à la rupture G que nous venons de calculer pour en déduire le poids qui produirait la rupture.

1° Considérons en premier lieu un corps prismatique ou cylindrique encastré à l'une de ses extrémités A, fig. 21, ayant une longueur $AB = l$, et chargé d'un poids P à l'autre extrémité.

La rupture tend à se faire dans la section en B, la puissance de rupture du poids P sur cette section est Pl, nous avons donc

$$(1) \qquad Pl = G \text{ ou } P = \frac{G}{l}$$

2° Soit maintenant un solide prismatique ou cylindrique posé horizontalement sur deux appuis et chargé au milieu d'un poids 2 P, fig. 22, soit $2l$ la puissance des appuis.

La rupture tend à se faire au milieu B, et la puissance de rupture du poids 2P sur la section du milieu est:

$$(2) \qquad P\left(1 + \frac{3f^2}{2l^2}\right) = G$$

f désigne la flèche de courbure, ou l'abaissement au milieu, on a:

$$f = \frac{Pl^3}{3F};$$

quand au moment de la rupture, la flèche est peu considéra-

ble, on peut négliger le terme en f^2 et l'on a, pour le poids qui produirait la rupture:

$$2P = \frac{2G}{l}.$$

Il est d'ailleurs évident que l'effort exercé sur chaque appui est égal à P.

3° Un solide prismatique droit, fig. 21 *bis*, encastré horizontalement à une extrémité et chargé uniformément de poids égaux p, par unité linéaire, se rompra en B si leur somme pl est égale à

$$(3) \qquad pl = \frac{2G}{l};$$

Le poids p réparti sur chaque unité de longueur peut n'être autre chose que le poids du solide lui-même.

On peut se demander quelle longueur il faudrait donner à une pièce de bois prismatique, en chêne, pour qu'elle se rompît, sous l'action de son propre poids, quand elle est encastrée à une extrémité. En remplaçant G par sa valeur page 104, nous avons :

$$pl = \frac{R}{3} \cdot \frac{ab^2}{l}.$$

Le poids p, pour l'unité de longueur, est égal au produit de la section ab par le poids du mètre cube de bois s; d'ailleurs R est donnée par la table du § 72, prenons moyennement $R = 6{,}000{,}000$,

$$ab.\, l^2 s = 2\,000\,000\, ab^2 \text{ ou } l^2 s = 2\,000\,000\, b$$

$$\text{d'où } l = \sqrt{2\,000\,000 . \frac{b}{s}}$$

pour $b = 1$, $l = 45$ mètres environ.

Dans les mêmes circonstances, pour la fonte on aurait $l = 37$ environ.

L'expression (3) comparée à l'expression (1) fait voir qu'un solide peut porter un poids distribué uniformément sur toute la longueur, double de celui qu'il porterait suspendu à l'extrémité.

4° Un solide prismatique ou cylindrique, fig. 22 *bis*, posé sur deux appuis horizontaux, chargé par des poids égaux

distribués uniformément sur toute la longueur, se rompra si leur somme $2pl$ est égale à

$$(4) \qquad 2pl = \frac{4G}{l\left(1 + \frac{16f^2}{5l^2}\right)}$$

Expression qui, comparée à celle n° 2, fait voir, en négligeant le terme en f^2, qu'il faut pour rompre le solide un poids double, si on le distribue uniformément, de celui qui le romprait, suspendu au milieu.

L'effort sur chaque appui est pl; la longueur qu'il faudrait donner à une pièce rectangulaire posée sur deux appuis, pour qu'elle se rompît sous l'action de son propre poids, serait le double de celle trouvée ci-dessus. Cette longueur L serait donnée par l'égalité

$$L = \sqrt{\frac{2Rb}{3s}}$$

ou plus généralement pour une base de fracture quelconque,

$$L = \sqrt{\frac{8G}{p}}$$

5° Un solide prismatique encastré horizontalement à une extrémité, fig. 21 *ter*, chargé de poids égaux p, distribués uniformément sur toute la longueur et de plus d'un poids P à l'extrémité, se rompra, si l'on a :

$$P + \frac{1}{2}pl = \frac{G}{l}.$$

6° Un solide prismatique posé sur deux appuis horizontaux, fig. 22 *ter*, chargé uniformément de poids égaux à p par unité de longueur et en outre du poids 2P au milieu, se rompra si l'on a :

$$2P + pl = \frac{2G}{l}.$$

7° Un solide prismatique posé sur deux appuis horizontaux, chargé en un point quelconque de sa longueur, d'un poids 2P, fig. 23, placé à la distance z du point milieu, se rompra au point B si l'on a :

$$2P = \frac{2Gl}{l^2 - z^2}.$$

Cette expression, comparée à celle du nº 2, fait voir qu'il faut pour opérer la rupture, un poids 2 P d'autant plus grand que le point de suspension se rapproche plus de l'un des supports.

L'effort exercé sur chaque support, dans ce cas, est, pour le plus éloigné du point de suspension, $P\frac{l-z}{l}$, et pour le plus rapproché : $P\frac{l+z}{l}$.

8º Un solide prismatique, fig. 24, posé horizontalement sur deux appuis et chargé uniformément sur une portion $2l'$ de sa longueur, sera rompu en B, si l'on a :

$$2pl'=\frac{4Gl}{2(l^2-z^2)-ll'};$$

z désigne la distance du point milieu de la pièce, au point milieu de la portion chargée.

L'effort sur l'appui le plus éloigné de la partie chargée sera $pl'\frac{l-z}{l}$ et sur l'autre $pl'\frac{l+z}{l}$.

9º Un solide encastré horizontalement, à une extrémité, posé sur un appui à l'autre et chargé à une distance z du point d'encastrement, d'un poids 2 P, se rompra en B si l'on a :

$$2P+\frac{8Gl^2}{z(z^2-6lz+8l^2)},$$

la charge sur l'appui sera :

$$2P\frac{z^2(6l-z)}{16l^3}.$$

10º Un solide, fig. 26, encastré horizontalement aux deux extrémités et chargé au milieu d'un poids 2P, se rompra en même temps aux trois points B, savoir les deux points d'encastrement et le point milieu, si l'on a :

$$2P=\frac{4G}{l}$$

Ce qui fait voir que la pièce peut porter un poids double de celui qu'elle supporterait si elle était simplement posée sur deux appuis.

11° Un solide, fig. 25 *bis*, posé sur trois, quatre, cinq.... appuis horizontaux, également espacés et chargé de poids $2P$, $2P'$, $2P''$..... placés au milieu de l'intervalle l entre chaque appui, se rompra si l'on a, en ne prenant que trois appuis,

$$2P + 2P' = \frac{16G}{3l}.$$

L'effort exercé sur l'appui du milieu, sera :

$$\frac{11}{8}(P + P');$$

sur l'appui A placé du même côté que le poids $2P$, ce sera

$$\frac{13P - 3P'}{16}$$

et enfin sur l'appui placé du même côté que le poids P' ce sera :

$$\frac{13P' - 3P}{16}$$

c'est sur le point d'appui du milieu que la pièce tend à se rompre.

Si l'on suppose les poids égaux, chaque moitié de la pièce est dans le même cas que si elle était encastrée à une extrémité et posée à l'autre sur un appui, dans ce cas l'effort sur le point d'appui du milieu est $\frac{22}{7}P$ et sur chacun des points extrêmes $\frac{5}{8}P$.

Dans les cas que nous avons considérés, nous avons indiqué le point de rupture qui, dans les figures, est désigné par B, nous ferons observer à cette occasion que quand une pièce est posée horizontalement, le point où elle tend à se rompre est situé sur la verticale qui passe par le centre de gravité des poids dont cette pièce est chargée.

79. Dans ce qui précède, nous nous sommes souvent servi de l'expression : *solide encastré horizontalement*, on entend par là que la portion encastrée doit être invariablement fixée de telle sorte que, quelle que soit la courbure que prend ce solide, sous l'action des efforts auxquels il est soumis, la tangente à cette courbe reste toujours horizontale aux points B,

fig. 26. L'encastrement se fait par le scellement exact de certaine longueur BC du solide dans un massif résistant. Pour être sûr que l'encastrement est complet, il faut que la partie supérieure du massif qui pose sur la portion BC du solide encastré ait un poids qui dépend de celui dont la pièce est chargée. Supposons la pression totale exercée sur la portion BC, représentée par M, le poids M, appliqué au point milieu de BC; soit d'ailleurs $l' = BC$. Pour que l'encastrement soit complet, on devra avoir, dans le cas de la figure 26,

$$M = P\frac{l}{l'},$$

La pression sur l'arête inférieure B de l'encastrement est, en l'appelant W,

$$W = P\frac{l + l'}{l'}.$$

On voit, ainsi que c'est facile à concevoir, que plus la partie encastrée sera courte, plus le contrepoids M exigé pour l'encastrement devra être grand, et plus la pression W sur l'arête du parement du massif sera considérable.

80. Le calcul des formules précédentes repose sur la connaissance de la résistance de divers matériaux à la rupture, produite par l'extension. Nous allons rapporter les principales expériences faites à ce sujet.

Table de la résistance à la rupture de divers matériaux, calculée en faisant fléchir les pièces.

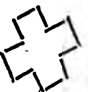
INDICATION DES MATIÈRES.	PESANTEUR spécifique.	RÉSISTANCE à la rupture ou valeur de R.
Chêne nouvellement abattu.. . .	»	5,862,000 6,435,000
Chêne anglais.	0,969	5,181,000
Id.	0,934	7,246,000
Chêne du Canada.	0,872	7,603,000
Chêne de Dantzick.	0,756	6,228,000
Chêne de l'Adriatique.	0,993	5,942,000
Frêne.	0,760	8,946,000
Hêtre.	0,696	6,688,000
Orme.	0,553	4,394,000
Pin rouge.	0,557	5,769,000
Sapin.	»	5,111,000
Sapin de la Nouvelle-Angleterre.	0,553	4,706,000
Sapin de Riga.	0,753	4,769,000
Id.	0,738	4,556,000
Epicea.	»	7,025,000
Fer fondu.	»	31,810,000
Fonte grise.	»	22,460,000 17,973,000
Fonte douce.	»	29,420,000

N. B. On n'a pas d'expériences concluantes pour le fer forgé.

Le tableau suivant présente l'ensemble des formules relatives à la flexion et à la rupture des corps, qui ont été exposées dans le courant du chapitre.

Expressions proportionnelles aux résistances à la flexion et à la rupture produites par un effort dirigé perpendiculairement à la direction d'un corps prismatique ou cylindrique ayant pour section l'une des figures indiquées ci-dessous. (On trouve, pour chaque espèce de matière, dans les tableaux précédents, les valeurs de E et de R à substituer dans ces expressions.)

BASES de FRACTURE.	DIMENSIONS.	F = expression proportionnelle à la résistance à la flexion.	G = résistance à la rupture.
	Rectangle dont a représente la largeur et b la hauteur.	$F = \frac{E}{12} \cdot ab^3$	$G = \frac{R}{6} \cdot ab^2$
	Triangle isocèle dont la base, placée verticalement égale $2q$, et la hauteur, placée horizontalement $= p$. .	$F = \frac{E}{6} \cdot pq^3$	$G = \frac{R}{6} \cdot pq^3$
	Carré dont a est le côté, quand la flexion a lieu dans le sens des diagonales.. . .	$F = \frac{E}{12} \cdot a^4$	$G = \frac{R}{6\sqrt{2}} a^3$
	Cercle dont le rayon est égal	$F = \frac{E}{4} \cdot \pi r^4$	$G = \frac{R}{4} \cdot \pi r^3$

	...gulaire creux ou figure de deux T opposés. a, b, a', b', largeurs et hauteurs des rectangles extérieur ou intérieur.	$F = \frac{E}{12}(ab^2 - a'b'^3)$	$G = \frac{R}{6} \frac{ab^2 - a'b'^2}{b}$
	Croix formée de deux rectangles égaux ; a, b, largeur et hauteur.	$F = \frac{E}{12}(ab^3 + a^3b - a^4)$	$G = \frac{R}{6} \frac{ab^3 + a^3b - a^4}{b}$
	Même croix quand la flexion a lieu dans le sens des diagonales du carré circonscrit. . . .	$F = \frac{E}{12}(ab^3 + a^3b - a^4)$	$G = \frac{R}{3\sqrt{2}} \frac{ab^3 + a^3b - a^4}{a+b}$
	Carré, dont le côté est b' renforcé de nervures dont la saillie est $b - b'$ et l'épaisseur a. . .	$F = E\left\{b'^5 + (b^3 - b'^3)a + (b - b')a^3\right\}$	$G = \frac{R}{6} \frac{b'^4 + (b^3 - b'^3)a + (b - b')a^3}{b}$
	La même figure quand la flexion est dans le sens des diagonales du carré. . . .		$G = \frac{R}{3\sqrt{2}} \frac{b'^4 + (b^3 - b'^3)a + (b - b')a^3}{a+b}$

BASES de FRACTURE.	DIMENSIONS.	E = expression proportionnelle à la résistance à la flexion.	G = résistance à la rupture.
	Tuyau rectangulaire ouvert ou figure de T; a, b dimensions du rectangle circonscrit, a' épaisseur du rectangle vertical; b' épaisseur du rectangle horizontal.	$F=\frac{E}{3}\left\{az^3-(a-a')(z-b')^3+a'(b-z)^3\right.$	$G=\frac{R}{3}\frac{az^3-(a-a')(a-b')^3+a'(b-z)^3}{b-z}$
	Octogone dont a et b sont la plus grande largeur et hauteur, a' b' les côtés horizontaux et verticaux.	$F=\frac{E}{12}\left\{a'b^3+\frac{1}{4}\frac{a-a'}{b-b'}(b^4-b'^4)\right\}$	$G=\frac{R}{6}\left\{a'b^2+\frac{1}{4}\frac{a-a'}{b-b'}\left(\frac{b^4-b'^4}{6}\right)\right\}$
	Section résultant de la précédente les deux parties rendues solidaires. . . .	$F=\frac{E}{12}\left\{ab^3-.\frac{1}{4}(a-a')(b-b')^3\right\}$	$G=\frac{R}{6}\left\{ab^2-\frac{1}{4}\frac{a-a}{b}(b-b')^3\right\}$
	Nota. La valeur de z ci-dessus est. . . .	$z=\frac{1}{2}\frac{ab'^2-a'b'^2+a'b^2}{ab'-a'b'\ a'+b}$	

81. ***Des plus grands efforts auxquels les matériaux employés dans les constructions peuvent être exposés avec sécurité.***

Nous venons de dire comment on calcule l'effort qui ferait rompre une pièce de dimensions définies. On passe de cette connaissance à celle de l'effort qu'on peut faire supporter aux matériaux dans les constructions, en consultant celles qui sont regardées comme les plus hardies, et dont le temps a cependant garanti la solidité. C'est ainsi qu'on a fixé par l'expérience, pour les diverses sortes de matériaux, les limites suivantes :

En appelant R' le plus grand effort que l'on puisse faire supporter aux fibres longitudinales d'un corps, sur l'unité superficielle, l'expérience donne les rapports suivants entre R et R' :

Bois.	R' = 1/10 R.
Fer forgé.. . .	R' = 10,000,000 kil.
Fer fondu. . .	R' = 1/4 R.

N. B. On aura la force permanente des matériaux exposés à la flexion transversale, en substituant la valeur de R' à celle de R dans les formules qui se rapportent à ce cas.

82. *Récapitulation des principaux cas de la flexion et de ... considérées.* (l représente la longueur des solides encas...

DISPOSITION DES SOLIDES.	EFFORTS SUR LES APPUIS.
(*Nota.* Dans les figures, le point B indique le point où le solide tend à se rompre).	
1. Solide encastré horizontalement et chargé d'un poids P à l'autre extrémité. (Fig. 21.)	»
2. Solide posé horizontalement sur deux appuis et chargé au milieu d'un poids 2 P. (Fig. 22.)	P
3. Solide encastré horizontalement et chargé uniformément de poids p, dont la somme est $p\,l$. (Fig. 21.)	»
4. Solide posé horizontalement sur deux appuis et chargé uniformément de poids p. (Fig. 22.)	pl
5. Solide encastré horizontalement, chargé uniformément et de plus d'un poids P à l'extrémité. (Fig. 21 *ter*.)	»
6. Solide posé horizontalement sur deux appuis, chargé uniformément et de plus d'un poids 2 P au milieu. (Fig. *ter*.)	P
7. Solide posé horizontalement sur deux appuis, chargé en un point quelconque d'un poids 2 P. (Fig. 23)	$P\frac{l-z}{l}$ *en* A. $P\frac{l+z}{l}$ *en* B.
8. Solide posé horizontalement sur deux appuis, et chargé uniformément sur une portion 2 l' de sa longueur seulement. (Fig. 24.)	$pl'.\frac{l-z}{l}$ *en* A. $pl'.\frac{l+z}{l}$ *en* C.
9. Solide encastré horizontalement à une extrémité, posé sur un appui à l'autre et chargé d'un poids 2 P. (Fig. 25.)	$2P\,\frac{z^2(6l-z)}{16.l}$
10. Solide encastré horizontalement aux deux extrémités et chargé au milieu du poids 2 P. (Fig. 26.)	»
11. Solide posé horizontalement sur 3, 4, 5... appuis, et chargé de poids 2P, 2P' 2P"... au point milieu entre les appuis (Fig. 25 *bis*.)	B, $\frac{11}{8}(P+P')$ A, $\frac{13P-3P'}{16}$; C, $\frac{13P'-3...}{16}$

...ture des corps prismatiques et cylindriques que nous avo...
...à moitié de l'intervalle entre les appuis.)

	FLÈCHE OU ABAISSEMENT DU A LA CHARGE.	POIDS PRODUISANT LA RUPTURE
1	$f=\frac{P}{F}\cdot\frac{l^3}{3}$	$P=\frac{G}{l}$
2	$f=\frac{P}{F}\cdot\frac{l^3}{3}$	$2P=\frac{2G}{l\left(1+\frac{3f^2}{2l^2}\right)}$
3	$f=\frac{pl}{F}\cdot\frac{l^3}{8}$	$pl=\frac{2G}{l}$
4	$f=\frac{pl}{F}\cdot\frac{5l^3}{24}$	$2pl=\frac{4G}{l\left(1+\frac{16f^2}{5l^2}\right)}$
5	$f=\frac{P}{F}\cdot\frac{l^3}{3}+\frac{pl}{F}\cdot\frac{l^3}{3}$	$P+\frac{1}{2}pl=\frac{G}{l}$
6	$f=\frac{P}{F}\cdot\frac{l^3}{3}+\frac{pl}{F}\cdot\frac{5l^3}{24}$	$P+\frac{1}{2}pl=\frac{G}{l}$
7	$f=\frac{P}{F}\cdot\frac{(l^2-z^2)^2}{3l}$	$P=\frac{Gl}{l^2-z^2}$
8	$f=\frac{pl'}{F}\left(\frac{(2l^2-2z^2-l'^2)(l^2-z^2)}{6l}+\frac{l'^3}{24}\right)$	$2pl'=\frac{4Gl}{2(l^2-z^2)-ll'}$
9	$f=\frac{P}{F}\cdot\frac{z^2}{3}(2l-z)\frac{\sqrt{2l-z}}{6l-z}$	$2P=\frac{8Gl2}{z(z^2-6lz+8l^2)}$
10	$f=\frac{P}{F}\cdot\frac{l^3}{12}$	$2P=\frac{4G}{l}$
	»	$2P+2P'=\frac{16G}{3l}$

RÉSISTANCE DES CORPS PRISMATIQUES A LA TORSION.

83. Un solide prismatique, invariablement fixé à une extrémité et sollicité à l'autre par un effort agissant sur un bras de levier perpendiculaire à l'axe du prisme, se tord et finit par se rompre, si l'effort que produit la torsion est assez grand. L'effet de la torsion est d'amener le diamètre BB' dans la position A A et de déplacer de la même manière toutes les autres sections, de moins en moins, jusqu'à celle invariablement fixée qui n'éprouve aucun déplacement. Représentons (fig. 27 *bis*) par P l'effort exercé en A, exprimé en kilogrammes.

c, le bras de levier o A;
d, le diamètre du solide;
l, sa longueur;
t, la résistance spécifique à la torsion, c'est un poids constant pour chaque espèce de corps;
u, l'angle de torsion AoB.

L'expérience suivante donne, pour la valeur en degrés de l'angle de torsion dû au poids P

$$u = 10{,}186 \frac{Pc}{t} \cdot \frac{l}{d^4}$$

Lorsque la section transversale est un rectangle dont les côtés sont a et b, on a pour la valeur du même angle

$$u = 12 \frac{Pc}{t} \cdot \frac{l}{ab(a^2 + b^2)}$$

Si $a = b = d$, c'est-à-dire pour une pièce carrée circonscrite au cercle d

$$u = 6 \frac{Pc}{t} \cdot \frac{l}{d^4}$$

On n'a d'expérience sur la torsion que pour le fer forgé et l'acier, la valeur moyenne de t pour ces substances est de

$$t = 91{,}674{,}000 \text{ kil.}$$

RÉSISTANCE A LA RUPTURE PAR TORSION.

84. En conservant les mêmes dénominations que ci-dessus, et désignant par T un poids exprimant la résistance à la torsion (rapportée à l'unité de surface), au moment ou la rup-

ture a lieu, on trouve que le poids qui produirait la rupture par torsion est donné, pour un corps cylindrique, par l'égalité

$$P = 0,196 \frac{T d^3}{c}$$

Quand la section transversale est un carré dont d est le côté, le poids est donné par l'expression :

$$P = 0,235 \frac{T d^3}{c}$$

On voit que la longueur du solide entre les deux extrémités n'influe pas sur la résistance à la rupture par torsion. Cette longueur n'entre que dans la valeur de l'angle de torsion qui est d'autant plus grand que cette longueur est plus considérable.

On a quelques expériences dues à MM. Banks, Dunlop, Rennie et Bramah, qui font connaître la valeur de T, mais il y a de grands écarts dans les valeurs dont le tableau suivant présente le résumé.

85. *Pièces carrées.*

INDICATION DES SUBSTANCES.	DIMENSIONS.	VALEUR DE T.
Fer fondu anglais.	0,025m. sur 0,025	45 160 000
Fer coulé horizontalement	0,006 sur 0,006	45 525 000
id.	id.	33 000 000
id.	id.	36 500 000
id.	id.	38 800 000
id.	0,012 sur 0,012	53 800 000
id.	id.	42 400 000
Fer coulé verticalement .	1 gr. 0,25 id.	29 750 000
id.	0,006 sur 0,006	48 500 000
id.	id.	46 200 000
id.	id.	3[illegible] 200 000
id.	id.	38 000 000
Fer fondu (expérience de M. Bramah.).	id.	44 400 000
Acier.	0,006 sur 0,006	78 000 000
Fer forgé d'Angleterre. .	id.	46 500 000
Id. de Suède. . . .	id.	43 500 000
Métal de canon dur. . . .	id.	22 900 000
Fonte jaune fine.	id.	21 500 000
Cuivre coulé.	id.	20 200 000
Etain.	id.	6 500 000
Plomb.	id.	4 580 000

Pièces rondes.

86. La moyenne de la valeur T pour les pièces rondes dont le diamètre a varié depuis cinq centimètres jusque douze centimètres, est, d'après les expériences de M. Banks :

$$T = 20{,}305{,}000 \text{ kil.}$$

Pour déduire l'effort permanent Pc de torsion auquel on pourrait soumettre des axes de rotation, des formules qui précèdent, il ne faudrait prendre que le cinquième ou le quart au plus de la valeur de T.

CHAPITRE IV.

Notions générales sur les diverses espèces de ponts et ponceaux.

87. Les ponts et ponceaux sont des ouvrages en maçonnerie, en bois ou en fer, destinés à franchir les cours d'eau, les ravins ou un fossé large et profond.

Sous le rapport de la grandeur, on les distingue en *ponceaux*, *arches* et *ponts*. La différence entre les ponceaux et les arches est arbitraire : on entend généralement par ponceau, un pont en une seule arche dont l'ouverture est au-dessous de deux mètres; cependant quelques personnes appliquent encore cette dénomination à des arches de quatre mètres; cela n'a pas d'inconvénients, puisque la forme et le mode de construction ne changent pas, qu'il s'agisse d'un ponceau et d'une arche.

On entend par arche un pont qui ne présente qu'un seul passage aux eaux, mais les arches elles-mêmes prennent la dénomination de pont, lorsqu'elles ont une très-grande ouverture.

Enfin un *pont* est la réunion, à la suite les unes des autres, de plusieurs passages pour les eaux ou de plusieurs *arches*.

88. Sous le rapport de la nature de leur construction, on les distingue en *ponts en bois, ponts en pierres, ponts en fer fondu, ponts en chaînes ou fil de fer et ponts en cordes*.

Les diverses ouvertures des ponts en bois, en fer fondu, en chaînes ou fil de fer et en cordes, prennent le nom de *travées*. Les travées sont pour ces ponts, ce que sont les arches pour les ponts en maçonnerie.

89. Sous le rapport du mode de construction, on les distingue en *ponts fixes, ponts mobiles, ponts flottants et ponts volants*.

Tout le monde comprend ce qu'on entend par les premiers : comme ils doivent être d'ailleurs l'objet de ce petit traité, nous nous bornerons à dire qu'on doit entendre par ponts fixes, ceux dont aucune des parties n'est disposée de manière à pouvoir changer de position à l'aide de manœuvres particulières.

Pour ce qui concerne les autres, dont il ne sera point parlé dans le cours de ce manuel, nous en donnerons la définition seulement.

Les *ponts mobiles* comprennent les *ponts-levis* et les *ponts tournants*. Les ponts-levis sont ceux dont le plancher s'élève ou s'abaisse à l'aide de flèches, de chaînes ou d'une bascule. Lorsqu'un pont est composé de deux ou plusieurs travées, dont une forme pont-levis, les autres prennent, par opposition, le nom de *ponts dormants*. Les *ponts tournants* sont ceux qui s'ouvrent et se ferment en tournant sur un pivot. Les ponts mobiles sont employés sur les routes qui doivent franchir une rivière ou un canal navigables, quand les abords ne permettent pas d'élever la route ou la travée à une hauteur telle que les bateaux puissent passer librement sous le pont. Si la largeur à franchir est considérable, ces ponts sont à double volée.

On entend par *pont flottant*, un pont supporté par une suite de bateaux, sur lesquels on jette plusieurs poutres ou pièces de charpente destinées à les entretenir, et en même temps à recevoir un tablier ou plancher pour le passage des piétons ou des voitures. Ces ponts sont terminés, aux deux extrémités, par des tabliers à charnières qui forment pente ou rampe, selon que les eaux s'abaissent ou s'élèvent. Sur les rivières navigables, une des conditions nécessaires de ces ponts est de pouvoir déplacer un ou deux des bateaux qui les supportent, pour ouvrir temporairement une passe à la navigation.

Les *ponts volants* sont une espèce de bac composé de deux bateaux joints ensemble par un plancher entouré d'un garde-corps, avec un ou plusieurs mâts, du haut desquels pend un long cable, porté de distance en distance sur de petits bateaux, dont le plus éloigné est à l'ancre au milieu du fleuve. A partir de ce point, comme centre, le pont décrit un arc à l'aide seul du gouvernail, en se portant d'une rive à l'autre ; le courant suffit pour le diriger, c'est un des meilleurs systèmes de bac pour traverser les grands fleuves.

Sur les fleuves et rivières qui n'ont pas une trop grande largeur, on tend horizontalement un gros fil-de-fer d'une rive à l'autre, en utilisant des arbres ou plantant à cet effet de forts poteaux. Une poulie à laquelle est attachée une corde partant du bac, glisse sur ce fil, et par l'effet seul du gouvernail et du courant on passe facilement d'un bord à l'autre de la rivière.

Comme nous l'avons déjà dit, il ne sera question, dans ce petit traité, que des ponts fixes, et encore ne parlerons-nous

que des ponceaux et ponts en maçonnerie et bois. Ce sont les seuls qui soient d'un usage habituel sur les routes, et s'il s'en rencontre quelquefois dont la construction soit plus difficile et l'importance plus grande, la direction en est alors confiée à des personnes qui n'auront pas besoin d'avoir recours à un traité aussi élémentaire que celui-ci.

DES DIFFÉRENTES PARTIES DES PONTS ET PONCEAUX.

90. Un pont se compose de différentes parties, qui méritent toutes une étude particulière et approfondie, car si l'une d'elles vient à périr, elle entraîne la ruine des autres, ou tout au moins les rend inutiles. Nous allons d'abord les énumérer et en donner la définition, nous reviendrons ensuite d'une manière toute particulière sur chacune d'elles.

Quand on a choisi l'emplacement d'un pont, dans les cas où ce choix se trouve être à la disposition du constructeur, les parties dont on a successivement à s'occuper sont :

91. La *fondation* ou la partie inférieure de la construction, destinée à supporter tout le poids du reste. De la résistance de la fondation, dépend essentiellement la stabilité de l'ouvrage ; le moindre vice dans cette partie importante peut entraîner sa ruine entière. Pour les constructions de ponts particulièrement, les fondations étant incessamment exposées à l'action des eaux, méritent tous les soins du constructeur.

92. Le radier, ou ouvrage en maçonnerie, qui recouvre tout l'emplacement sur lequel doit être construit le pont, et qui s'élève jusqu'à l'arrasement du sol naturel du fond de la rivière ou du ruisseau. On ne fait de radier que lorsqu'on craint que le terrain, sous la voûte, ne soit entraîné par les eaux. Quelquefois on prolonge, dans le même but, cette espèce de recouvrement en maçonnerie, en amont et en aval du pont ; on prévient ainsi les affouillements.

93. Les culées, ou massifs de maçonnerie construits sur les rives opposées du ruisseau, destinés à supporter le poids de la voûte, à résister à la poussée horizontale qu'elle peut exercer et à soutenir les terres de la route qui ont été remblayées pour faciliter les abords du pont.

94. Les murs en aile, qui soutiennent et défendent les berges de la rivière et protègent les talus de la levée des abords du pont, ce sont de véritables murs de soutènement. Leur évasement dépend de plusieurs circonstances dont nous par-

lerons plus tard. Quand cet évasement est nul, c'est-à-dire, quand les murs deviennent parallèles aux culées, ou n'en forment que le prolongement, le nom de murs en aile ne leur est plus applicable. Lorsqu'au contraire ils sont construits perpendiculairement à la direction des culées ou du cours de la rivière, ils prennent le nom de *murs en retour*.

95. Les piles ou massifs de maçonnerie, fondés et construits dans le lit de la rivière, pour porter les voûtes ou travées des ponts.

96. Les palées ou supports en charpente qui, dans les ponts en bois, ont la même destination que les piles dans ceux en maçonnerie.

97. La voûte ou corps en maçonnerie disposée en plein cintre ou en courbe plus ou moins surbaissée, s'appuyant sur les deux culées, et établissant la communication de l'une à l'autre.

98. Les travées ou assemblage de bois dont les deux extrémités reposent sur des culées et piles en maçonnerie, ou sur des palées de charpente. Les travées sont pour les ponts en bois et en fer et pour les ponts suspendus, ce que sont les arches pour les ponts en maçonnerie.

CHAPITRE V.

De l'emplacement des ponts.

99. Il est rare que le constructeur puisse choisir à sa volonté l'emplacement où il doit édifier un pont. Presque toujours la position est déterminée d'avance, soit par les routes déjà construites, si l'on se trouve en pleine campagne, soit par les rues qui viennent y aboutir, si l'ouvrage doit être exécuté dans une ville. Lorsqu'il en est ainsi, il ne reste plus qu'à tirer le meilleur parti possible de l'emplacement marqué, tant pour la disposition de l'ensemble du pont, que pour sa solidité. Lorsqu'on n'est pas maître d'éviter les obstacles que la nature oppose, le devoir est de chercher à les vaincre le plus efficacement possible. Un bon choix annonce le mérite du constructeur, des difficultés surmontées mettent son génie en évidence.

Dans les cas fort rares où l'on a à déterminer cet emplacement, la première recherche à faire pour se décider, est celle d'un fond solide; nous verrons plus tard, à l'article des fondations, comment on procède pour obtenir des notions précises à cet égard. Le rocher est le meilleur de tous les fonds, il n'est pas susceptible d'être comprimé par le poids de l'édifice, ni d'être affouillé par le courant des eaux. Si l'on est assez heureux pour le rencontrer à une faible profondeur, et à une petite distance du point qu'il serait le plus naturel de choisir, on ne doit pas hésiter à dévier la route et même à allonger un peu le parcours, plutôt que d'exposer l'avenir de la construction, en l'établissant sur un sol qui n'offrirait pas la même sécurité.

Dans une large vallée, les mêmes considérations peuvent conduire à détourner le ruisseau ou la rivière, et à reporter son cours vers l'un des coteaux où l'on a rencontré un terrain résistant; pour les petits ruisseaux, on peut surtout user de ce moyen; mais, pour les grandes rivières, il ne faut se résoudre à ce parti qu'après y avoir bien mûrement réfléchi et avoir étudié leur régime avec soin et pendant longtemps. Les cours d'eau se sont tracés un lit qu'il est quelquefois difficile de leur faire abandonner, et on pourrait presque dire qu'ils ont des allures et des habitudes qu'il est dangereux de vouloir modifier.

100. Quand on a à exécuter un ponceau sous les grands remblais d'une route et qu'il est destiné à donner écoulement aux eaux pluviales d'un ravin ou d'une vallée stérile, il peut être avantageux de ne pas le placer au point le plus bas du sol a (fig. 1). On peut l'élever et le reporter sur le flanc de l'un des versants en a'. Cette disposition offre plusieurs avantages : d'abord, il y a économie dans la construction, puisqu'elle n'a pas besoin d'une aussi grande longueur, a (fig. 2); ensuite, on a moins à craindre de le voir obstrué par les eaux d'orage qui, formant ainsi une espèce d'étang, en amont de la route, laissent déposer, avant de s'écouler, la plus grande partie de la vase qu'elles tiennent en suspension. Si les terres, déposées successivement dans le vallon, parviennent à en élever le sol jusqu'à la hauteur du ponceau, on creuse alors un lit qu'on a soin d'entretenir.

101. Dans l'établissement des ponts et ponceaux, quand on est fixé sur leur emplacement, on doit chercher, autant que possible, à diriger l'axe de la construction perpendiculairement au fil des eaux, afin que la direction du courant soit parallèle aux faces latérales des piles et des culées. Ce parallélisme est une condition essentielle à remplir, et, lors même que l'axe du pont ne peut être dirigé, comme nous venons de le dire, on ne doit pas y renoncer, on incline alors les faces des piles relativement à cet axe, et on a ce qu'on nomme un *pont biais*. Cette espèce de pont doit être évitée, autant que possible, elle présente d'abord quelques difficultés dans l'appareil de la voûte, c'est-à-dire dans la forme que l'on doit donner à chacune des pierres apparentes qui la composent; ensuite, elle offre un bien plus grave inconvénient encore, c'est que la poussée des parties extrêmes des voûtes n'est contrebalancée par rien. Ainsi, en représentant par AB et CD les deux piles, et par ABCD la projection horizontale de la voûte, on peut la décomposer en trois parties AEDF, ACE, BDF; dans la première seule, la poussée horizontale qu'exerce le poids de la voûte contre les portions AE et DE des piles, est égale de part et d'autre, et les autres parties tendent à se séparer; la force seule des matériaux s'oppose à cet effet, qu'on ne parvient à éviter qu'au moyen d'un appareil bien entendu et en employant des pierres de taille : nous avons eu occasion de voir des voûtes en briques, faites avec le plus grand soin, offrir des lézardes, suivant les directions AE et FD, dès la seconde année de leur construction.

On trouvera à la fin du volume la traduction de l'ouvrage de Buck sur les ponts biais à appareil hélicoïdal.

CHAPITRE VI.

Du débouché des ponts et ponceaux.

102. On entend par débouché d'un pont ou d'un ponceau la surface d'écoulement qu'offre aux eaux l'ensemble de ses diverses ouvertures. Le débouché des ponceaux a beaucoup moins d'importance que celui des grands ponts, et nous allons d'abord exposer les règles pratiques qui servent de guide dans la solution de cette question.

Il est rare qu'on ne trouve pas à peu de distance du point où l'on veut établir un ponceau, soit sur le même ruisseau, soit sur un autre, une construction de ce genre ; alors on établit le rapport des surfaces des deux bassins dont les eaux doivent trouver un écoulement sous les ponceaux, et on l'adopte pour celui des débouchés, en ayant soin toutefois de tenir compte des petites différences qui peuvent exister entre les deux cas, et qui portent à augmenter ou à diminuer un peu ce rapport.

Lorsqu'on n'a pas cette ressource, on peut encore se diriger d'après quelques résultats d'expériences ; ainsi, dans un pays plat, comme la Belgique, où les collines n'ont que 15 à 20 mètres de hauteur au-dessus des plaines, on donne une largeur de débouché de quarante-cinq à cinquante centimètres pour mille hectares ou cinq huitièmes de lieue carrée de 4,000^{m}. ce qui revient à quatre-vingts centimètres par lieue : dans les pays où les montagnes ont cinquante mètres au-dessus des vallées voisines, on donne jusqu'à deux mètres de largeur pour la même superficie de terrain.

La différence de largeur de débouché qu'il faut donner, pour une même étendue de pays, dans les deux circonstances précédentes, ne tenant qu'à la hauteur des montagnes voisines, c'est-à-dire, à la plus ou moins grande vitesse avec laquelle les eaux peuvent se rendre en un point déterminé de la vallée, il en résulte que, lorsqu'on prend pour le rapport des débouchés celui des surfaces des bassins, on pourrait commettre une erreur assez grave, si l'on n'apportait la plus grande attention à leur forme ; les eaux qui tombent sur les côteaux d'un vallon, disposées en demi-cercle autour du point où l'on veut construire un ponceau, arriveront certainement

plus vite au centre que celles qui tombent sur des côteaux n'offrant que la même superficie, mais affectant une forme plus allongée. Dans le premier cas, le débouché devra être plus grand, puisque dans un temps plus court, il devra donner passage à la même quantité d'eau que dans le second. Cette nouvelle considération vient donc modifier le premier résultat; on peut la traduire mathématiquement, c'est-à-dire, la faire entrer dans le calcul du débouché en y introduisant le rapport inverse des rayons des plus longs arcs que l'on peut décrire dans chaque vallée, en prenant le milieu du ponceau comme centre.

103. Supposons, par exemple, que dans un premier bassin de trois lieues carrées, se trouve un ponceau ayant 2.60 de largeur de débouché, et que du milieu de ce ponceau au point le plus éloigné du bassin, il y ait quatre lieues. On propose de trouver, d'après ce qui vient d'être dit, la largeur de débouché d'un autre ponceau, construit dans un bassin de deux lieues et demie carrées et un endroit éloigné de deux lieues trois quarts du point extrême.

En désignant par x la largeur cherchée, nous établirons d'abord l'égalité des rapports des débouchés et des bassins, ce qui nous donne

$$\frac{x}{2,60} = \frac{2,50}{3,00} \text{ d'où } x = \frac{2,68 \times 2,50}{3}$$

Pour tenir compte de la différence d'allongement des bassins, nous n'avons plus qu'à multiplier le résultat obtenu, ou x, par le rapport inverse des rayons, et nous avons :

$$x' = x\frac{4}{2,75} = \frac{2,60 \times 2,50 \times 4}{3 \times 2,75} = 3^{m}.15$$

Quand les cours d'eau, sur lesquels on veut établir des ponceaux, ne sont pas exposés à ces grandes variations dans la quantité d'eau à laquelle ils doivent donner un écoulement, c'est-à-dire quand leur régime est réglé, on peut se servir des formules qui vont être établies à l'occasion des débouchés des grands ponts.

DU DÉBOUCHÉ DES PONTS.

104. Lorsqu'il existe, près de l'emplacement et sur la même rivière où l'on doit établir un pont, d'autres constructions du même genre, le débouché peut être déterminé d'une manière

plus facile que lorsqu'on n'a aucune donnée première pour se diriger. On établit alors, entre les mesures que l'on prend à ces constructions, et les dimensions analogues que l'on veut déterminer, des comparaisons qui peuvent fixer le nouveau débouché d'une manière assez exacte.

S'il n'existe aucun pont, en amont ou en aval de celui que l'on veut construire, on se trouve réduit à chercher la solution de ce problème par les moyens que nous allons exposer, et qu'il est d'ailleurs utile d'employer dans tous les cas, ne serait-ce que comme moyen de vérification.

105. Pour fixer le débouché d'un pont et se rendre compte de l'influence que le rétrécissement du lit aura sur le niveau des eaux, il faut reconnaître la relation qui existe entre le débit, la section du lit de la rivière et la vitesse moyenne des eaux.

Le mouvement de l'eau, dans un courant quelconque, est dû à la gravité, c'est la seule force qui agisse sur la masse fluide, mais cette force ne peut produire d'effet qu'autant que la surface fluide vient à prendre, par une cause quelconque, une inclinaison dans le sens longitudinal. Alors une molécule liquide se meut comme se mouvrait une molécule solide sur un plan ayant même inclinaison que la surface liquide. Ainsi, si l'on désigne par p la pente par unité de longueur de cette surface, chaque molécule sera soumise à l'action d'une force accélératrice égale à gp, si l'on représente par $g = 9{,}8088$, la force de la gravité.

106. Un corps soumis à l'action d'une force accélératrice prend un mouvement uniformément accéléré, si aucune résistance passive ne vient équilibrer, à une certaine époque du mouvement, l'action incessante de la force accélératrice. Si cette circonstance se présente, le mouvement cesse alors de s'accélérer et il passe à l'état uniforme, c'est-à-dire que des espaces égaux sont parcourus en des temps égaux. Cet état d'uniformité suppose que les forces accélératrice et retardatrice demeurent égales; si la force retardatrice varie, la force accélératrice demeurant constante, alors le mouvement est varié.

107. L'expérience de tous les jours démontre que l'eau ne se meut pas dans les rivières d'un mouvement uniformément et indéfiniment accéléré; quelquefois elle se meut d'un mouvement uniforme, le plus souvent d'un mouvement varié. Dans le premier cas la force retardatrice est constante, égale et directement opposée à la force accélératrice; dans le se-

cond, au contraire, elle est variable d'un point à l'autre du parcours de l'eau. Elle est toujours directement opposée à la force accélératrice; mais, tantôt supérieure, elle retarde le mouvement; tantôt inférieure, elle permet l'accélération; parfois égale, elle établit momentanément l'uniformité.

108. Un cours d'eau doué de la première espèce de mouvement est dans un état qu'on définit par la dénomination de *régime uniforme*; doué de la seconde espèce de mouvement, il est dans un état de *régime permanent*. Cette distinction est due à M. l'ingénieur Belanger, et pour la faire bien comprendre nous ne pouvons mieux faire que de transcrire ici la définition qu'il en donne lui-même.

109. « Imaginons, dit-il, un canal d'une longueur quelconque, dont les parois soient immobiles et inaltérables par le courant qui pourra s'y établir; supposons que sa pente et son profil transversal varient suivant une loi quelconque, pourvu qu'il n'en résulte pas dans les parois, des changements brusques de direction, qui puissent occasionner des tournoiements ou des ondulations dans l'eau qui y coulera; concevons enfin qu'un tel canal soit alimenté, à l'une de ses extrémités, par une source d'un produit constant par seconde, et offre, à l'autre bout, un mode fixe d'évacuation: par exemple, une embouchure dans un bassin d'un niveau invariable; ou un déversoir de superficie, ou bien encore une cataracte de fond entièrement libre du côté d'aval. Après un certain laps de temps, à compter de la première introduction de l'eau dans le canal, il s'établira, dans toute son étendue, un courant dont chaque section transversale dépensera, par seconde, précisément la même quantité d'eau que fournit la source. Dès-lors la surface du cours d'eau conservera une position invariable, de manière qu'à quelque instant que l'on prenne une section du courant, par un même plan fixe quelconque, cette section sera toujours la même. Cet état du cours d'eau s'appelle en général *régime permanent*.

» Il a pour seule condition, que le courant soit décomposable en filets fluides invariables de forme et de position, dépensant un volume d'eau constant pendant l'unité de temps, mais dont la section, et par conséquent la vitesse, peuvent être variables d'un point à un autre d'un même filet.

» Si on ajoute de plus que la vitesse et la section de chaque filet en particulier soient constantes, le régime devient alors *uniforme*. »

1° *Régime uniforme.*

110. Cette force retardatrice qui, à une certaine époque du mouvement, vient faire équilibre à la force accélératrice, n'existe pas avant le mouvement comme cette dernière, car alors le mouvement ne pourrait avoir lieu, mais elle en est une conséquence ; elle naît pour ainsi dire avec lui, s'accroît d'intensité lorsque la vitesse augmente, et finit toujours, si le mouvement se continue assez longtemps, par devenir aussi puissante que la cause en vertu de laquelle elle existe. Alors le fluide ne se meut qu'en vertu de la vitesse acquise pendant la première période de l'écoulement.

Cette force retardatrice, quelle qu'elle soit, ne peut se développer que sur les parois du lit : ce sera une espèce de frottement ou d'adhérence des molécules fluides qui retardera celles qui se trouveront immédiatement en contact avec les parois, et ce retard se transmettra à toutes ces masses de proche en proche, en vertu de l'adhérence réciproque des molécules fluides, de telle sorte que la vitesse de tous les filets fluides sera diminuée d'autant plus qu'ils seront plus rapprochés des parois. La vitesse la plus grande aura lieu vers le milieu du cours d'eau, au point le plus éloigné du périmètre mouillé, ou de la portion des parois en contact avec le liquide ; le filet que l'on peut considérer comme l'axe de la masse fluide, sera doué d'une vitesse moyenne, celle que l'on considère dans les applications, parce que c'est elle qui multipliée par l'aire de la section fait connaître le volume d'eau écoulé dans l'unité de temps.

111. Quoi qu'il en soit des phénomènes qui donnent lieu à la naissance de la force retardatrice, et quel que soit le mode d'action des parois, l'expérience a prouvé que si l'on représente par v la vitesse moyenne, ou celle qui, multipliée par la section de la masse fluide, donne le volume d'eau écoulé en une seconde ;

par s l'aire de la section de la masse fluide ;

par c le périmètre mouillé ;

Cette force retardatrice est exprimée d'une manière suffisamment exacte, pour les applications, par l'expression suivante :

$$g\frac{c}{s}\left(av+bv^2\right)$$

Nous avons dit qu'elle devait être égale à la force accélératrice $g\,p$, nous avons donc :

$$\text{(A)} \qquad p = \frac{c}{s}\left(a v + b v^2\right)$$

pour la relation qui doit exister entre la pente uniforme de la surface, qui dans le régime uniforme est égale à celle du lit, le périmètre mouillé c, la section s et la vitesse moyenne v. Trois de ces quantités connues, on pourra déterminer la quatrième. Quand on aura calculé v, par exemple, il suffira de faire le produit $v s$ pour avoir le volume $Q = v s$.

Les coëfficients constants a, b, de la première et de la deuxième puissance de la vitesse ont été déterminés par M. de Prouy d'après trente et une expériences choisies et discutées avec soin et dans lesquelles la vitesse moyenne se trouvait donnée par l'observation, ou déduite de la vitesse à la surface. Ces valeurs sont :

$$a = 0{,}0000\ 4445$$
$$b = 0{,}000\ \ 30951$$

M. Eytelvein, suivant la même marche que M. de Prouy, mais opérant sur un plus grand nombre d'expériences, a trouvé

$$a = 0{,}0000\ 24627$$
$$b = 0{,}0003\ 65543$$

En adoptant les derniers, on a

$$v = -0{,}0332 + \sqrt{26\ 36\ \frac{p s}{c} + 0{,}0011}$$

Généralement il sera suffisamment exact de prendre :

$$v = -0{,}0332 + \sqrt{2736\ \frac{p s}{c}}$$

et

$$Q = s\left(-0{,}0332 + \sqrt{2736\ \frac{p s}{c}}\right)$$

112. Nous concluons de la formule (A) que, dans un courant à l'état de régime uniforme, la pente de la surface fluide demeurant constante doit être égale à celle du fond du lit, d'où il suit que la plus grande profondeur d'eau doit demeurer la même dans toutes les sections. Les aires des sec-

tions doivent aussi être constantes, puisque $v = \frac{Q}{s}$ reste constante; mais les sections peuvent n'être ni de figure géométrique ni de forme régulière, il faut et il suffit que les aires, les périmètres mouillés et la plus grande profondeur ne changent pas.

Cette formule fait voir en même temps l'influence des parois du lit sur le mouvement : incapables de le produire, puisque, nous l'avons dit, il est une conséquence de la pente superficielle, elles le modifient, en donnant pour ainsi dire plus ou moins de prise, suivant qu'elles s'étendent plus ou moins aux causes, quelles qu'elles soient, qui développent la force retardatrice.

Régime permanent.

113. Nous avons vu que l'état de *régime permanent* comportait le mouvement varié des eaux, c'est-à-dire le changement de vitesse moyenne d'un point à l'autre du parcours, par suite la variation de la pente superficielle, des aires, des périmètres mouillés et des plus grandes profondeurs des sections.

Le mouvement varié des eaux, de même que le mouvement uniforme, est uniquement dû à la pente superficielle, et la force accélératrice qui le produit est représentée également par gp, p désignant la pente par unité de longueur.

Si, comme l'a fait M. Vauthier, ingénieur en chef des ponts-et-chaussées, dans un mémoire très-remarquable inséré dans les Annales, nous considérons une certaine longueur z du cours d'eau, à l'état de régime permanent, dans laquelle la vitesse s'accroît, ce qui ne peut résulter que d'un accroissement dans la pente superficielle, nous pouvons diviser cette pente pz en deux parties $p'z\, p''z$: la première, précisément égale à celle qui serait nécessaire pour produire, dans la longueur du cours considéré, et eu égard à la constitution du lit, un mouvement uniforme sera donné par l'égalité :

$$p'z = \frac{c}{s}\left(av + bv^2\right)z$$

La deuxième partie, égale à celle qui serait nécessaire pour produire une accélération précisément aussi forte que celle qui a réellement lieu, sera donnée par la différence des hauteurs dues aux vitesses moyennes à la fin et au commencement de la longueur considérée. Si l'on désigne par v_1 et v_0 la vitesse moyenne à l'extrémité et à l'origine de la lon-

gueur z, on sait que la hauteur h_1 due à v_1, est égale à 0,051 v_1^2, de même $h_0 = 0{,}051\, v_0$.

Nous avons donc finalement :

$$(B) \quad pz = \frac{c}{s}\left(av + bv^2\right)z + h_1 - h_0 = \frac{V}{R}z + h_1 - h_0$$

en faisant pour plus de simplicité $\frac{s}{c} = R$ et $av + bv^2 = V$.

Si, au lieu d'un mouvement accéléré, on avait un mouvement retardé, la différence $h_1 - h_0$ deviendrait négative, ce qui doit être, puisque, dans ce cas, la pente superficielle diminue. Pour le mouvement uniforme elle deviendrait égale à zéro.

114. Remarquons maintenant que pour parvenir à la formule (B) nous avons supposé que la pente du fluide était uniforme ou suivant un plan incliné sur toute la longueur z, et que la section s était constante et avait une valeur, non pas moyenne, mais intermédiaire entre les deux extrêmes; cela n'est pas exact : la section peut changer d'un point à un autre, alors la pente change aussi, et les filets du milieu de la surface fluide affectent une certaine courbure dans le sens vertical. On commettrait donc une erreur, en plus ou en moins, si l'on appliquait la formule (B) à la détermination de la pente absolue sur une grande longueur ; mais, vu la faible courbure, dans le sens vertical, des filets superficiels de la masse fluide, on peut, sans erreur sensible dans la pratique, l'appliquer aux petites longueurs.

115. *Table des valeurs du terme* $av + bv^2$ *correspondantes à une vitesse donnée, et des hauteurs dues aux différentes vitesses.*

VITESSE moyenne = V.	HAUTEUR due à V.	VALEUR de $av+bv^2$.	VITESSE moyenne = V.	HAUTEUR due à V.	VALEUR de $av+bv^2$.
0.01	0.00001	0.0000003	0.31	0.00490	0.0000425
0.02	0.00002	0.0000006	0.32	0.00522	0.0000452
0.03	0.00005	0.0000011	0.33	0.00555	0.0000478
0.04	0.00009	0.0000016	0.34	0.00589	0.0000505
0.05	0.00013	0.0000021	0.35	0.00624	0.0000533
0.06	0.00019	0.0000028	0.36	0.00660	0.0000561
0.07	0.00026	0.0000035	0.37	0.00697	0.0000590
0.08	0.00034	0.0000043	0.38	0.00735	0.0000620
0.09	0.00043	0.0000051	0.39	0.00775	0.0000651
0.10	0.00051	0.0000060	0.40	0.00816	0.0000682
0.11	0.00062	0.0000071	0.41	0.00860	0.0000714
0.12	0.00074	0.0000083	0.42	0.00900	0.0000747
0.13	0.00087	0.0000092	0.43	0.00944	0.0000780
0.14	0.00101	0.0000106	0.44	0.00990	0.0000814
0.15	0.00115	0.0000119	0.45	0.01030	0.0000849
0.16	0.00131	0.0000132	0.46	0.01080	0.0000885
0.17	0.00148	0.0000147	0.47	0.0110	0.0000922
0.18	0.00166	0.0000162	0.48	0.0117	0.0000959
0.19	0.00185	0.0000178	0.49	0.0121	0.0000997
0.20	0.00204	0.0000195	0.50	0.0127	0.0001035
0.21	0.00225	0.0000212	0.51	0.0132	0.0001075
0.22	0.00247	0.0000230	0.52	0.0138	0.0001115
0.23	0.00270	0.0000249	0.53	0.0142	0.0001155
0.24	0.00294	0.0000269	0.54	0.0149	0.0001197
0.25	0.00319	0.0000289	0.55	0.0154	0.0001239
0.26	0.00345	0.0000310	0.56	0.0160	0.0001282
0.27	0.00372	0.0000332	0.57	0.0165	0.0001326
0.28	0.00400	0.0000354	0.58	0.0172	0.0001370
0.29	0.00429	0.0000378	0.59	0.0178	0.0001416
0.30	0.00459	0.0000402	0.60	0.0184	0.0001461

VITESSE moyenne = V.	HAUTEUR due à V.	VALEUR de $av+bv^2$	VITESSE moyenne = V.	HAUTEUR due à V.	VALEUR de $av+bv^2$.
0.61	0.0190	0.0001508	0.[illegible]	0.0450	0.0003458
0.62	0.0196	0.0001556	0.95	0.0460	0.0003530
0.63	0.0202	0.0001604	0.96	0.0470	0.0003602
0.64	0.0208	0.0001653	0.97	0.0480	0.0003675
0.65	0.0215	0.0001702	0.98	0.0490	0.0003749
0.66	0.0222	0.0001753	0.99	0.0500	0.0003823
0.67	0.0229	0.0001803	1.00	0.0510	0.0003898
0.68	0.0235	0.0001855	1.01	0.0520	0.0003974
0.69	0.0243	0.0001908	1.02	0.0530	0.0004051
0.70	0.0250	0.0001961	1.03	0.0540	0.0004128
0.71	0.0257	0.0002015	1.04	0.0551	0.0004206
0.72	0.0265	0.0002070	1.05	0 0562	0.0004286
0.73	0.0272	0.0002125	1.06	0.0573	0.0004364
0.74	0.0280	0.0002181	1.07	0.0584	0.0004445
0.75	0.0287	0.0002238	1.08	0.0595	0.0004526
0.76	0.0295	0.0002296	1.09	0.0606	0.0004607
0.77	0.0302	0.0002354	1.10	0.0617	0.0004690
0.78	0.0310	0.0002413	1.11	0.0628	0.0004773
0.79	0.0318	0.0002473	1.12	0.0640	0.0004857
0.80	0.0326	0.0002534	1.13	0.0651	0 0004942
0.81	0.0335	0.0002595	1.14	0.0662	0.0005027
0.82	0.0343	0.0002657	1.15	0.0674	0.0005113
0.83	0.0352	0.0002720	1.16	0.0687	0.0005200
0.84	0.0360	0.0002783	1.17	0.0700	0.0005288
0 85	0.0368	0.0002847	1.18	0.0711	0.0005376
0.86	0.0376	0.0002912	1.19	0.0722	0.0005465
0.87	0.0385	0.0002978	1.20	0.0734	0.0005555
0.88	0.0395	0.0003044	1.21	0.0748	0.0005646
0.89	0.0404	0.0003111	1.22	0.0759	0.0005737
0.90	0.0413	0.0003179	1.23	0.0770	0.0005829
0.91	0.0422	0.0003248	1.24	0.0783	0.0005921
0.92	0.0431	0.0003317	1.25	0.0797	0.0006015
0.93	0.0441	0.0003387	1.26	0.0810	0.0006109

VITESSE moyenne = V.	HAUTEUR due à V.	VALEUR de $av+bv^2$.	VITESSE moyenne = V.	HAUTEUR due à V.	VALEUR de $av+bv^2$.
1.27	0.0822	0.0006205	1.60	0.1305	0.0009746
1.28	0.0836	0.0006300	1.61	0.1320	0.0009866
1.29	0.0850	0.0006396	1.62	0.1338	0.0009986
1.30	0.0861	0.0006493	1.63	0.1354	0.0010108
1.31	0.0874	0.0006591	1.64	0.1370	0.0010230
1.32	0.0888	0.0006690	1.65	0.1388	0.0010352
1.33	0.0901	0.0006789	1.66	0.1401	0.0010476
1.34	0.0916	0.0006889	1.67	0.1420	0.0010599
1.35	0.0929	0.0006996	1.68	0.1440	0.0010725
1.36	0.0942	0.0007091	1.69	0.1458	0.0010850
1.37	0.0956	0.0007193	1.70	0.1473	0.0010977
1.38	0.0970	0.0007296	1.71	0.1491	0.0011104
1.39	0.0985	0.0007400	1.72	0.1503	0.0011231
1.40	0.0999	0.0007504	1.73	0.1525	0.0011360
1.41	0.1015	0.0007609	1.74	0.1542	0.0011489
1.42	0.1029	0.0007715	1.75	0.1561	0.0011620
1.43	0.1040	0.0007822	1.76	0.1580	0.0011750
1.44	0.1058	0.0007929	1.77	0.1598	0.0011881
1.45	0.1072	0.0008037	1.78	0.1615	0.0012014
1.46	0.1085	0.0008146	1.79	0.1632	0.0012146
1.47	0.1100	0.0008258	1.80	0.1651	0.0012281
1.48	0.1120	0.0008366	1.81	0.1670	0.0012414
1.49	0.1133	0.0008477	1.82	0.1685	0.0012551
1.50	0.1147	0.0008589	1.83	0.1704	0.0012686
1.51	0.1160	0.0008701	1.84	0.1722	0.0012822
1.52	0.1180	0.0008814	1.85	0.1745	0.0012970
1.53	0.1193	0.0008928	1.86	0.1761	0.0013097
1.54	0.1205	0.0009043	1.87	0.178	0.0013237
1.55	0.1225	0.0009158	1.88	0.180	0.0013375
1.56	0.1242	0.0009274	1.89	0.182	0.0013516
1.57	0.1258	0.0009391	1.90	0.184	0.0013657
1.58	0.1272	0.0009509	1.91	0.186	0.0013798
1.59	0.1290	0.0009627	1.92	0.188	0.0013941

VITESSE moyenne = V.	HAUTEUR due à V.	VALEUR de $av+vb^2$.	VITESSE moyenne = V.	HAUTEUR due à V.	VALEUR de $av+bv^2$.
1.93	0.190	0.0014084	2.26	0.260	0.0019218
1.94	0.192	0.0014228	2.27	0.262	0.0019387
1.95	0.194	0.0014373	2.28	0.265	0.0019555
1.96	0.196	0.0014519	2.29	0.267	0.0019725
1.97	0.198	0.0014664	2.30	0.270	0.0019895
1.98	0.200	0.0014811	2.31	0.272	0.0020067
1.99	0.202	0.0014959	2.32	0.276	0.0020238
2.00	0.204	0.0015007	2.33	0.278	0.0020410
2.01	0.206	0.0015257	2.34	0.280	0.0020584
2.02	0.208	0.0015405	2.35	0.282	0.0020757
2.03	0.210	0.0015556	2.36	0.284	0.0020932
2.04	0.212	0.0015707	2.37	0.286	0.0021107
2.05	0.214	0.0015859	2.38	0.288	0.0021284
2.06	0.216	0.0016012	2.39	0.291	0.0021460
2.07	0.218	0.0016165	2.40	0.294	0.0021637
2.08	0.220	0.0016320	2.41	0.297	0.0021816
2.09	0.223	0.0016474	2.42	0.299	0.0021995
2.10	0.225	0.0016630	2.43	0.302	0.0022175
2.11	0.227	0.0016786	2.44	0.304	0.0022355
2.12	0.229	0.0016943	2.45	0.306	0.0022536
2.13	0.231	0.0017101	2.46	0.308	0.0022718
2.14	0.234	0.0017257	2.47	0.311	0.0022900
2.15	0.236	0.0017419	2.48	0.314	0.0023084
2.16	0.238	0.0017579	2.49	0.317	0.0023268
2.17	0.240	0.0017740	2.50	0.319	0.0023453
2.18	0.243	0.0017901	2.51	0.321	0.0023638
2.19	0.245	0.0018063	2.52	0.324	0.0023824
2.20	0.247	0.0018226	2.53	0.326	0.0024012
2.21	0.250	0.0018389	2.54	0.329	0.0024199
2.22	0.252	0.0018554	2.55	0.332	0.0024388
2.23	0.254	0.0018719	2.56	0.334	0.0024577
2.24	0.256	0.0018885	2.57	0.337	0.0024768
2.25	0.258	0.0019052	2.58	0.340	0.0024958

VITESSE moyenne = V.	HAUTEUR due à V.	VALEUR de $av+bv^2$.	VITESSE moyenne = V.	HAUTEUR due à V.	VALEUR de $av+bv^2$.
2.59	0.342	0.0025149	2.80	0.400	0.0029338
2.60	0.345	0.0025340	2.81	0.403	0.0029545
2.61	0.348	0.0025534	2.82	0.406	0.0029754
2.62	0.350	0.0025728	2.83	0.408	0.0029963
2.63	0.353	0.0025922	2.84	0.411	0.0030172
2.64	0.355	0.0026118	2.85	0.414	0.0030383
2.65	0.358	0.0026313	2.86	0.417	0.0030594
2.66	0.361	0.0026509	2.87	0.420	0.0030806
2.67	0.363	0.0026707	2.88	0.423	0.0031018
2.68	0.366	0.0026905	2.89	0.426	0.0031232
2.69	0.369	0.0027104	2.90	0.429	0.0031446
2.70	0.372	0.0027303	2.91	0.432	0.0031661
2.71	0.375	0.0027504	2.92	0.435	0.0031876
2.72	0.378	0.0027704	2.93	0.438	0.0032092
2.73	0.380	0.0027906	2.94	0.441	0.0032309
2.74	0.383	0.0028108	2.95	0.444	0.0032527
2.75	0.386	0.0028311	2.96	0.447	0.0032745
2.76	0.389	0.0028515	2.97	0.450	0.0032965
2.77	0.392	0.0028720	2.98	0.453	0.0033185
2.78	0.395	0.0028925	2.99	0.456	0.0033405
2.79	0.398	0.0029131	3.00	0.459	0.0033627

116. Supposons que les profils en travers A, B, C, D, E aient été pris sur un ruisseau débitant quatre mètres cubes d'eau par seconde et que l'on veuille connaître la pente superficielle du courant; nous calculerons successivement les aires s, les périmètres mouillés c de chaque section et la vitesse moyenne v, la table du § 115 nous fera connaître la quantité $av+bv_2=V$ de même que les hauteurs h_o, h_1

$$A\begin{cases} c = 8{,}14 \\ s = 4{,}34 \\ v = 0{,}92 \end{cases} \quad \frac{8{,}14}{4{,}34} \times 0{,}000332 = 0{,}000620 \ldots\ h_0 = 0{,}0431$$

$$\text{B}\begin{cases} c = 9{,}47 \\ s = 5{,}52 \\ v = 0{,}72 \end{cases} \frac{9{,}47}{5{,}52} \times 0{,}000207 = 0{,}000357 \ldots\ldots h_1 = 0{,}0265$$

$$\text{C}\begin{cases} c = 7{,}88 \\ s = 5{,}14 \\ v = 0{,}78 \end{cases} \frac{7{,}88}{5{,}14} \times 0{,}000241 = 0{,}000370 \ldots\ldots h_2 = 0{,}0310$$

$$\text{D}\begin{cases} c = 8{,}41 \\ s = 5{,}36 \\ v = 0{,}75 \end{cases} \frac{8{,}41}{5{,}36} \times 0{,}000224 = 0{,}000351 \ldots\ldots h_3 = 0{,}0287$$

$$\text{E}\begin{cases} c = 8{,}67 \\ s = 6{,}18 \\ v = 0{,}65 \end{cases} \frac{8{,}67}{6{,}18} \times 0{,}000170 = 0{,}000230 \ldots\ldots h_4 = 0{,}0215$$

Ces calculs établis, si nous voulons connaître la pente du courant de A en B, nous porterons les chiffres ci-dessus dans la formule (B), mais pour plus d'exactitude nous prendrons une moyenne arithmétique entre les quantités $\frac{c_0}{s_0} V_0$ et $\frac{c_1}{s_1} V_1$, cette pente nous sera donc donnée par la formule :

$$\text{(C)} \qquad pz = \left\{ \frac{c_0}{s_0} V_0 + \frac{c_1}{s_1} V_1 \right\} \frac{z}{2} + h_1 - h_0$$

$$pz = \left(0{,}000620 + 0{,}000357 \right) \frac{90}{2} + 0{,}0265 - 0{,}0431$$

$pz = 0{,}0440 - 0{,}0166 = 0^{\text{m}}.028$, ci. 0,0274

et ainsi de suite pour les autres.

de B en C on aurait.	0,0320
de C en D.	0,0284
de D en E.	0,0161
pente totale, de A en E. . .	0,1049

117. Supposons que les deux culées d'un pont, s'avançant de 2,15 de chaque côté de la section E, réduisent en ce point la largeur du lit à quatre mètres. Ce rétrécissement produira un rehaussement de niveau en amont du pont. Pour obtenir la valeur, on admet que la différence de niveau, de l'amont à l'aval du pont, est égale à la différence des hauteurs dues aux vitesses après et avant le rétrécissement. En nommant x le rehaussement au-dessus du niveau naturel, on aura :

$$x = 0{,}051 \left(V_1^2 - V_0^2 \right)$$

V_1 est la vitesse après le rétrécissement ou sous le pont après la contraction; V_0 celle en amont, après le rehaussement de niveau, de sorte que l'on a :

$$V_1^2 = \frac{Q^2}{m^2 l_1^2 H_1^2}; \qquad V_0^2 = \frac{Q^2}{L_0^2 (H_1 + x)^2}$$

$m = 0{,}95$ est le coefficient de contraction; l_1 la largeur du pont; L_0 la largeur moyenne de la section en amont du pont; H_1 la profondeur d'eau dans l'état ordinaire. L'équation qui nous donnera le rehaussement sera donc :

$$\text{(D)} \qquad x = 0{,}051\, Q^2 \left(\frac{1}{m^2 l_1^2 H_1^2} - \frac{1}{L_0^2 (H_1^2 + x)^2}\right)$$

Dans l'exemple choisi nous avons :

$$m l_1 H_1 = 4^m.28 \times 0{,}95 = 4{,}07; \; L_0 (H_1 + x) = 6{,}18 + 8{,}30.x$$
$$Q^2 = 16;$$

nous avons donc :

$$x = 0{,}816 \left(\frac{1}{16{,}56} \quad \frac{1}{(6{,}18 + 8{,}30.x)^2}\right)$$

en faisant $x = 0{,}03$, l'équation se trouve à très-peu près satisfaite.

118. Le rehaussement de niveau produit par le pont se fait sentir en amont. Si l'on veut savoir de combien l'eau s'est élevée à la section D, on se servira de la formule C, dans laquelle on connaît toutes les quantités affectées de l'indice 1, elles se déduisent de la section E, en y supposant un rehaussement de niveau de 0,03. (Pour plus de simplicité nous supposerons les berges à-peu-près verticales au-dessus de l'étiage) ce qui donne $c_1 = 8{,}73$; $s_1 = 6{,}43$; $v_1 = 0{,}622$; $V_1 = 0{,}000156$; $h_1 = 0{,}0198$; l'équation (c) devient donc :

$$p\,z = 0{,}0283 + \frac{c_0}{s_0} V_0 \frac{z}{2} \; h_0$$

faisons, pour premier essai, $p\,z = 0{,}01$, et calculons, d'après cette hypothèse, c_0, s_0, V_0 et h_0. Avant le remou, la pente était de 0,0161, l'exhaussement de niveau, à la section D, est donc de $0{,}03 - (0{,}0161 - 0{,}01)$ ou de 0,024, d'où il suit que $c_0 = 8{,}46$; $s_0 = 5{,}51$; $V_0 = 0{,}000209$; $h_0 = 0{,}0268$. En portant les nombres dans l'équation ci-dessus, le second membre devient 0,014, ce qui ne satisfait pas complètement; mais si l'on

fait $pz = s\,0{,}013$, l'équation est à très-peu près satisfaite et l'exhaussement en D est donc de 0,027. En opérant de même, on trouvera de proche en proche la surélévation de niveau dans chacune des sections en amont.

M. Saint-Guilhem, ingénieur des ponts-et-chaussées, a donné, pour calculer la surélévation q, à une distance x, en amont du pont, produite par un rehaussement H, la formule empirique :

$$q = H \sqrt[3]{\frac{1}{1 + \frac{4}{g} H \left(\frac{px}{H}\right)^6} + \left(\frac{px}{H}\right)^3}$$

p est la pente superficielle du courant avant l'établissement du pont.

119. Le calcul indique que le remou produit par un obstacle quelconque à l'écoulement, se fait sentir à une distance infinie vers l'amont, mais on atteint bientôt un point, où l'intervalle qui sépare les surfaces du courant primitif et du remou devient insensible. On admet dans la pratique que le remou d'une hauteur H ne se fait sentir qu'à une distance marquée par

$$\frac{3H}{2p}$$

p est la pente moyenne du courant primitif. Dans l'exemple que nous avons choisi, cette pente est $\frac{0{,}1049}{333}$ ainsi le remou s'étendrait jusqu'à une distance marquée par

$$\frac{3 \times 0{,}03 \times 333}{2 \times 0{,}1049} = 143$$

c'est-à-dire que le rehaussement est négligeable généralement dans la pratique en amont de ce pont.

120. Les remous dont nous venons de parler ont une surface concave, ils se perdent insensiblement dans le courant naturel ; mais il en est une autre espèce que l'on observe quelquefois dans les cours d'eau à forte vitesse et à petite profondeur. La surface de ces remous est convexe, ils se terminent vers l'amont par un ressaut, leur étendue est moindre que celle des précédents ; au lieu d'être supérieure à $\frac{H}{p}$

(quantité qui indique la distance à laquelle l'horizontale menée par le sommet du remou rencontre la surface du courant), elle est toujours inférieure; d'après les expériences de M. Bidone elle serait, ainsi que l'a calculé M. d'Aubuisson, égale à

$$\frac{H}{p} - 1{,}31\,v^2$$

et la hauteur du ressaut serait égale à

$$1{,}31\,pv^2$$

ou bien encore la hauteur du ressaut est égale à la différence des hauteurs dues aux vitesses avant et après le ressaut, d'où il résulte qu'il ne peut y avoir de remou à ressaut que dans les cours d'eau dont le courant naturel a une profondeur moindre que la moitié de la hauteur due à sa vitesse.

121. Supposons maintenant que l'on ait remarqué, dans une crue, que l'eau s'élevait de 0,80 à la section A et de 0,79 à la section B.

L'aire de la section A, en supposant les berges verticales au-dessus du niveau d'étiage était donc devenue 4,34 + 6,24. = 10,58
et le périmètre mouillé à 8,14 + 2 × 0,80. . . . . = 9,74

Si à la section B l'eau s'est élevée au même instant de 0,79, ce qui aurait porté l'aire de cette section à 5,52 + 9,20 × 0,79. = 12,79
et le périmètre à 9,47 + 2 × 0,79. . . . . = 11,05

Il en résulte que la pente absolue de A en B s'était accrue de 0,01, ou qu'elle était de 0,0377. Avec ces données on peut calculer le volume d'eau Q que débitait la rivière dans le nouvel état des choses. En introduisant les nombres ci-dessus dans la formule (C) après y avoir remplacé

$$V^0 \text{ par } \frac{Q}{s^0};\ v_1 \text{ par } \frac{Q}{s_1};\ h_0 \text{ par } 0{,}051.\ \frac{Q^2}{s_0^2};\ h_1 \text{ par } 0{,}051\frac{Q^2}{{}^2{}_1s},$$

on est conduit à une équation du second degré qui donne la valeur de Q. Cette équation est :
$Q^2(0{,}00022216 - 0{,}00016533) + Q\ 0{,}00017324 = 0{,}0377$, d'où l'on tire $Q = 20^{mmm}.892$.

Il suit de là que dans la section A, la vitesse moyenne est égale à 1,974.

Dans la section B, elle est de 1,634.

122. Si, partant de la section B, nous calculons la pente superficielle du nouveau courant au moyen de la formule (C) en procédant par tâtonnement, ainsi que nous l'avons déjà indiqué, nous avons :

$$pz = -0{,}1032 + \frac{C_1}{s_1} V_1 + h_1$$

équation satisfaite par $pz = 0^m.188$, ce qui fait voir que le niveau s'est élevé de 0,634 dans la section C. En calculant pour cette section la surface, le périmètre mouillé, etc., on arrive à l'égalité

$$pz = -0{,}158 + \frac{C_1}{s_1} V_1 + h_1$$

qui est satisfaite par $pz = 0{,}195$, d'où il suit que l'élévation du niveau en D est de $0^m.468$. Calculant de même pour cette section, l'aire, le périmètre, etc., on a :

$$pz = -0{,}188 + \frac{C_1}{s_1} V_1 + h_1$$

égalité satisfaite par $pz = 0{,}25$, ainsi le niveau s'est élevé dans la section, de $0^m.234$.

123. Supposons maintenant que les circonstances qui ont augmenté le débit d'une manière si notable se représentent après la construction du pont. Et calculons, d'après la formule D, le remou x produit par le pont.

$$x = 22{,}27 \left(\frac{1}{22{,}36} - \frac{1}{(7{,}12 + 8{,}3\,x)^2}\right)$$

par $x = 0{,}89$, l'équation est à très-peu près satisfaite. On connaîtrait le remou produit en amont en opérant comme nous l'avons déjà indiqué au moyen de la formule (C). Il s'étend beaucoup plus loin bien entendu que celui qui a lieu à l'étiage et il doit être pris en plus grande considération eu égard aux inconvénients qui pourraient en résulter en amont. Remarquons de plus que la section contractée sous le pont n'ayant une aire que $4^{mm}.75$, la vitesse moyenne y serait de plus de 4,35.

124. On peut parvenir d'une manière directe à la connaissance de la vitesse moyenne, lorsqu'on connaît la vitesse à la surface. Plusieurs auteurs se sont occupés de la recherche

des relations entre la vitesse à la surface, la vitesse du fond et la vitesse moyenne dans un courant où la pente et la section sont constantes. M. de Prony a donné la relation suivante entre la vitesse moyenne v et la vitesse V à la surface, au milieu du courant.

$$v=\frac{V\,(V+2{,}37187)}{V+3{,}1532};$$

et la relation $W=2v-V$ entre les trois vitesses ci-dessus, W exprimant la vitesse au fond du lit.

Moyennement on a d'après cette formule :

$$V=0{,}8\,V$$
$$W=0{,}6V$$

125. On peut éviter le calcul de la première de ces formules en employant la table suivante.

122. Si, partant de la section B, nous calculons la pente superficielle du nouveau courant au moyen de la formule (C) en procédant par tâtonnement, ainsi que nous l'avons déjà indiqué, nous avons :

$$pz = -0,1032 + \frac{C_1}{s_1} V_1 + h_1$$

équation satisfaite par $pz = 0^m.188$, ce qui fait voir que le niveau s'est élevé de 0,634 dans la section C. En calculant pour cette section la surface, le périmètre mouillé, etc., on arrive à l'égalité

$$pz = -0,158 + \frac{C_1}{s_1} V_1 + h_1$$

qui est satisfaite par $pz = 0,195$, d'où il suit que l'élévation du niveau en D est de $0^m.468$. Calculant de même pour cette section, l'aire, le périmètre, etc., on a :

$$pz = -0,188 + \frac{C_1}{s_1} V_1 + h_1$$

égalité satisfaite par $pz = 0,25$, ainsi le niveau s'est élevé dans la section, de $0^m.234$.

123. Supposons maintenant que les circonstances qui ont augmenté le débit d'une manière si notable se représentent après la construction du pont. Et calculons, d'après la formule D, le remou x produit par le pont.

$$x = 22,27 \left(\frac{1}{22,56} - \frac{1}{(7,12 + 8,3\,x)^2}\right)$$

par $x = 0,89$, l'équation est à très-peu près satisfaite. On connaîtrait le remou produit en amont en opérant comme nous l'avons déjà indiqué au moyen de la formule (C). Il s'étend beaucoup plus loin bien entendu que celui qui a lieu à l'étiage et il doit être pris en plus grande considération eu égard aux inconvénients qui pourraient en résulter en amont. Remarquons de plus que la section contractée sous le pont n'ayant une aire que $4^{mm}.75$, la vitesse moyenne y serait de plus de 4,35.

124. On peut parvenir d'une manière directe à la connaissance de la vitesse moyenne, lorsqu'on connaît la vitesse à la surface. Plusieurs auteurs se sont occupés de la recherche

des relations entre la vitesse à la surface, la vitesse du fond et la vitesse moyenne dans un courant où la pente et la section sont constantes. M. de Prony a donné la relation suivante entre la vitesse moyenne v et la vitesse V à la surface, au milieu du courant.

$$v = \frac{V\,(V + 2,37187)}{V + 3,1532};$$

et la relation $W = 2v - V$ entre les trois vitesses ci-dessus, W exprimant la vitesse au fond du lit.

Moyennement on a d'après cette formule :

$$V = 0,8\,\mathring{V}$$
$$W = 0,6V$$

125. On peut éviter le calcul de la première de ces formules en employant la table suivante.

122. Si, partant de la section B, nous calculons la pente superficielle du nouveau courant au moyen de la formule (C) en procédant par tâtonnement, ainsi que nous l'avons déjà indiqué, nous avons :

$$pz = -0{,}1032 + \frac{C_1}{s_1} V_1 + h_1$$

équation satisfaite par $pz = 0^m.188$, ce qui fait voir que le niveau s'est élevé de 0,634 dans la section C. En calculant pour cette section la surface, le périmètre mouillé, etc., on arrive à l'égalité

$$pz = -0{,}158 + \frac{C_1}{s_1} V_1 + h_1$$

qui est satisfaite par $pz = 0{,}195$, d'où il suit que l'élévation du niveau en D est de $0^m.468$. Calculant de même pour cette section, l'aire, le périmètre, etc., on a :

$$pz = -0{,}188 + \frac{C_1}{s_1} V_1 + h_1$$

égalité satisfaite par $pz = 0{,}25$, ainsi le niveau s'est élevé dans la section, de $0^m.234$.

123. Supposons maintenant que les circonstances qui ont augmenté le débit d'une manière si notable se représentent après la construction du pont. Et calculons, d'après la formule D, le remou x produit par le pont.

$$x = 22{,}27 \left(\frac{1}{22{,}96} - \frac{1}{(7{,}12 + 8{,}3\,x)^2}\right)$$

par $x = 0{,}89$, l'équation est à très-peu près satisfaite. On connaîtrait le remou produit en amont en opérant comme nous l'avons déjà indiqué au moyen de la formule (C). Il s'étend beaucoup plus loin bien entendu que celui qui a lieu à l'étiage et il doit être pris en plus grande considération eu égard aux inconvénients qui pourraient en résulter en amont. Remarquons de plus que la section contractée sous le pont n'ayant une aire que $4^{mm}.75$, la vitesse moyenne y serait de plus de 4,35.

124. On peut parvenir d'une manière directe à la connaissance de la vitesse moyenne, lorsqu'on connaît la vitesse à la surface. Plusieurs auteurs se sont occupés de la recherche

des relations entre la vitesse à la surface, la vitesse du fond et la vitesse moyenne dans un courant où la pente et la section sont constantes. M. de Prony a donné la relation suivante entre la vitesse moyenne v et la vitesse V à la surface, au milieu du courant.

$$v = \frac{V(V + 2,37187)}{V + 3,1532};$$

et la relation $W = 2v - V$ entre les trois vitesses ci-dessus. W exprimant la vitesse au fond du lit.

Moyennement on a d'après cette formule :

$$V = 0,8\,\dot{V}$$
$$W = 0,6V$$

125. On peut éviter le calcul de la première de ces formules en employant la table suivante.

122. Si, partant de la section B, nous calculons la pente superficielle du nouveau courant au moyen de la formule (C) en procédant par tâtonnement, ainsi que nous l'avons déjà indiqué, nous avons :

$$pz = -0{,}1032 + \frac{C_1}{s_1} V_1 + h_1$$

équation satisfaite par $pz = 0^m.188$, ce qui fait voir que le niveau s'est élevé de 0,634 dans la section C. En calculant pour cette section la surface, le périmètre mouillé, etc., on arrive à l'égalité

$$pz = -0{,}158 + \frac{C_1}{s_1} V_1 + h_1$$

qui est satisfaite par $pz = 0{,}195$, d'où il suit que l'élévation du niveau en D est de $0^m.468$. Calculant de même pour cette section, l'aire, le périmètre, etc., on a :

$$pz = -0{,}188 + \frac{C_1}{s_1} V_1 + h_1$$

égalité satisfaite par $pz = 0{,}25$, ainsi le niveau s'est élevé dans la section, de $0^m.234$.

123. Supposons maintenant que les circonstances qui ont augmenté le débit d'une manière si notable se représentent après la construction du pont. Et calculons, d'après la formule D, le remou x produit par le pont.

$$x = 22{,}27 \left(\frac{1}{22{,}56} - \frac{1}{(7{,}12 + 8{,}3\,x)^2}\right)$$

par $x = 0{,}89$, l'équation est à très-peu près satisfaite. On connaîtrait le remou produit en amont en opérant comme nous l'avons déjà indiqué au moyen de la formule (C). Il s'étend beaucoup plus loin bien entendu que celui qui a lieu à l'étiage et il doit être pris en plus grande considération eu égard aux inconvénients qui pourraient en résulter en amont. Remarquons de plus que la section contractée sous le pont n'ayant une aire que $4^{mm}.75$, la vitesse moyenne y serait de plus de 4,35.

124. On peut parvenir d'une manière directe à la connaissance de la vitesse moyenne, lorsqu'on connaît la vitesse à la surface. Plusieurs auteurs se sont occupés de la recherche

des relations entre la vitesse à la surface, la vitesse du fond et la vitesse moyenne dans un courant où la pente et la section sont constantes. M. de Prony a donné la relation suivante entre la vitesse moyenne v et la vitesse V à la surface, au milieu du courant.

$$v=\frac{V(V+2,37187)}{V+3,1532};$$

et la relation $W=2v-V$ entre les trois vitesses ci-dessus. W exprimant la vitesse au fond du lit.

Moyennement on a d'après cette formule :

$$V=0,8\,V$$
$$W=0,6\,V$$

125. On peut éviter le calcul de la première de ces formules en employant la table suivante.

122. Si, partant de la section B, nous calculons la pente superficielle du nouveau courant au moyen de la formule (C) en procédant par tâtonnement, ainsi que nous l'avons déjà indiqué, nous avons :

$$pz = -0{,}1032 + \frac{C_1}{s_1} V_1 + h_1$$

équation satisfaite par $pz = 0^m.188$, ce qui fait voir que le niveau s'est élevé de 0,634 dans la section C. En calculant pour cette section la surface, le périmètre mouillé, etc., on arrive à l'égalité

$$pz = -0{,}158 + \frac{C_1}{s_1} V_1 + h_1$$

qui est satisfaite par $pz = 0{,}195$, d'où il suit que l'élévation du niveau en D est de $0^m.468$. Calculant de même pour cette section, l'aire, le périmètre, etc., on a :

$$pz = -0{,}188 + \frac{C_1}{s_1} V_1 + h_1$$

égalité satisfaite par $pz = 0{,}25$, ainsi le niveau s'est élevé dans la section, de $0^m.234$.

123. Supposons maintenant que les circonstances qui ont augmenté le débit d'une manière si notable se représentent après la construction du pont. Et calculons, d'après la formule D, le remou x produit par le pont.

$$x = 22{,}27 \left(\frac{1}{22{,}86} - \frac{1}{(7{,}12 + 8{,}3\,x)^2}\right)$$

par $x = 0{,}89$, l'équation est à très-peu près satisfaite. On connaîtrait le remou produit en amont en opérant comme nous l'avons déjà indiqué au moyen de la formule (C). Il s'étend beaucoup plus loin bien entendu que celui qui a lieu à l'étiage et il doit être pris en plus grande considération eu égard aux inconvénients qui pourraient en résulter en amont. Remarquons de plus que la section contractée sous le pont n'ayant une aire que $4^{mm}.75$, la vitesse moyenne y serait de plus de 4,35.

124. On peut parvenir d'une manière directe à la connaissance de la vitesse moyenne, lorsqu'on connaît la vitesse à la surface. Plusieurs auteurs se sont occupés de la recherche

des relations entre la vitesse à la surface, la vitesse du fond et la vitesse moyenne dans un courant où la pente et la section sont constantes. M. de Prony a donné la relation suivante entre la vitesse moyenne v et la vitesse V à la surface, au milieu du courant.

$$v = \frac{V(V+2{,}37187)}{V+3{,}1532};$$

et la relation $W = 2v - V$ entre les trois vitesses ci-dessus. W exprimant la vitesse au fond du lit.

Moyennement on a d'après cette formule :

$$V = 0{,}8\,V$$
$$W = 0{,}6\,V$$

125. On peut éviter le calcul de la première de ces formules en employant la table suivante.

VITESSE A LA SURFACE.	RAPPORT $\frac{v}{V}$	VITESSE A LA SURFACE.	RAPPORT $\frac{v}{V}$
0.10	0.758	1.60	0.837
0.20	0.765	1.70	0.839
0.30	0.773	1.80	0.842
0.40	0.779	1.90	0.845
0.50	0.786	2.00	0.848
0.60	0.792	2.10	0.851
0.70	0.798	2.20	0.856
0.80	0.803	2.30	0.859
0.90	0.808	2.40	0.861
1.00	0.812	2.50	0.862
1.10	0.817	2.60	0.863
1.20	0.821	2.70	0.866
1.30	0.826	2.80	0.869
1.40	0.830	2.90	0.871
1.50	0.832	3.00	0.873

On ne doit se servir des résultats fournis par la formule

qui précède, qu'avec la plus grande réserve ; les expériences ont été faites en petit, et la nature des mouvements des fluides n'est pas encore assez bien connue pour qu'il soit permis de conclure ici du petit au grand, d'une manière absolue. Quelques expériences en grand paraissent cependant confirmer les résultats indiqués par la formule.

126. On voit par l'exemple que nous avons choisi, qu'un point, tout en ne modifiant le régime que d'une manière insignifiante dans les eaux ordinaires, peut, dans les grandes crues, produire un regonflement très-considérable et donner lieu à des vitesses capables d'occasionner de très-grands affouillements. Lors donc que l'on a adopté un débouché, il faut encore se rendre compte, du moins approximativement, de ce qui arrivera dans les grandes crues ; ce n'est pas à dire qu'il faille calculer le débouché pour les cas exceptionnels, car alors il se produirait, en temps ordinaire, des dépôts sous le pont ; mais il faut y avoir égard ; sinon on pourrait produire des inondations, et de plus compromettre la durée de la construction.

127. Dans les rivières il s'établit un rapport convenable entre la résistance du lit et la force avec laquelle les parois sont attaquées par les eaux dans les grandes crues. Quand, dans ces circonstances, le lit n'est pas modifié, on dit que le *régime* de la rivière est établi, Nous avons déjà employé cette expression en ne l'appliquant qu'à ce qui concerne l'écoulement, ici il désigne la stabilité du lit, eu égard à la vitesse des eaux.

Les matières qui composent le lit sont mises en mouvement avec plus ou moins de facilité, suivant leur grosseur et leur densité.

Dubuat a constaté qu'il fallait, pour mettre en mouvement l'argile propre à la poterie, une vitesse de. . 0.08
le sable. 0.16
gravier de la Seine gros comme des pois 0.19
id. gros comme des fèves. 0.32
galets de mer de 0.025 à 0.30 de diamètre.. . . . 0.65
pierre à fusil comme des œufs de poule. 1.00

Il suit de là que lorsqu'on ne fait pas de radier à un pont, il faut lui donner un débouché tel que la vitesse que les eaux prendront sous les arches, ne puisse corroder le fond.

128. Soit que l'on détermine le maximum de vitesse que les eaux pourront prendre sous le pont par les considérations précédentes, soit qu'on le fixe par celle du réhaussement de

niveau (la seule chose dont on ait à s'occuper lorsque le lit est de matière tellement résistante qu'on n'a pas d'affouillement à craindre), la connaissance de cette vitesse permet de calculer la surface de débouché. En nommant h la profondeur moyenne de l'eau avant l'établissement du pont, et sur la largeur l des arches, m le coefficient de contraction, et v cette vitesse fixée *a priori*, on aura

$$mlh = \frac{Q}{v}$$

129. En amont d'un pont, comme nous venons de le voir, l'eau s'élève, puis en passant le rétrécissement, et même un peu au delà, elle s'abaisse. Par suite de la chute totale, l'eau, un peu au-delà du rétrécissement, possède une vitesse notablement plus grande qu'en amont. Avec cette plus grande vitesse, une plus grande inclinaison et une moindre profondeur, elle atteindra plus facilement le fond, et elle y exercera une plus forte action. Ce sera donc un peu à l'aval d'un pont, que le courant tendra plus particulièrement à creuser son lit et affouiller ses piles. On ne doit pas oublier cette circonstance dans les projets.

130. En France, la vitesse ordinaire des rivières est de $0^{m}.60$ à 0.90, et même un mètre ; au-dessus elle est regardée comme grande, et très-grande si elle dépasse deux mètres. Lorsqu'un cours d'eau mène de 10 à 12 mètres cubes d'eau par seconde, il prend rang parmi les rivières ; de 30 à 40 c'est une rivière navigable. A 100 mètres et au-dessus on a nos fleuves. La Seine roule environ 130 mètres, la Garonne, à Toulouse, 150, dans son état ordinaire. Au reste, les quantités peuvent quelquefois dans les crues être décuplées et plus.

131. *Tableau de la Vitesse de quelques fleuves et rivières.*

NOMS.	AUX EAUX.	LARGEUR moyenne.	PROFONDEUR moyenne.	PENTE.	VITESSE moyenne.	VOLUME d'eau en 1″.
Rhin.....	Ordinaires....	514	3.63	0.000 115	0.91	1673
	Hautes.....	521	4.93	0.000 115	1.31	3395
Weser......	Ordinaires....	105	1.98	0.000 411	1.58	328
	Hautes.....	144	4.12	0.000 550	2.41	1428
Elbe à Magdebourg.....	Ordinaires....	96	2.64	0.000 254	1.15	294
	Hautes.....	96	4.07	0.000 363	1.63	639

NOMS.	VITESSE MOYENNE.
Danube.	1.30
Durance, au-dessous de Sisteron. . . .	2.65
Elbe, à Jaromitz.	2.00
Elbe, à Boitzembourg.	1.05
Moselle, à Metz, vitesse ordinaire. . .	0.90
Moselle, à Metz, aux endroits rapides. .	2.00
Oder, en Silésie.	0.90
Oder, à Stettin.	0.58
Rhin, au pont de Kehl.	1.00
Rhin, à Gueldern..	1.20
Rhin, à Dusseldorf.	1.50
Rhin, au-dessous de Coblentz.. . . .	1.54
Rhône, à Arles.	1.45
Rhône, à Lyon.	2.10
Seine, aux endroits rapides.	1.05
Tessin, vitesse moyenne.	2.33

CHAPITRE VII.

De la forme des arches et de leur description, et autres dimensions des ponts.

132. On distingue trois espèces principales d'arches, relativement à la forme qu'il convient de leur donner.

1° Arches en *plein cintre*, décrites par une demi-circonférence;

2° Arches en anse de panier, décrites ordinairement par plusieurs arcs de cercles de différents rayons, et dont la forme approche de celle d'une demi-ellipse;

3° Arches en arc de cercle, formées d'un arc de cercle moindre qu'une demi-circonférence, et comprenant un nombre de degrés plus ou moins considérable.

133. Les arches en plein cintre offrent l'avantage d'une grande solidité et d'une construction facile, mais elles ont l'inconvénient d'obstruer considérablement le passage de l'eau, puisque la largeur va toujours en diminuant à mesure que le niveau s'élève.

134. Les arches en anse de panier n'obstruent pas, comme les précédentes, le passage de l'eau, et quand la différence des rayons des arcs de cercle dont elles sont composées, n'est pas très-grande, on obtient, comme pour les précédentes, une grande solidité, et leur construction n'est pas beaucoup plus difficile.

135. Les arches en arc de cercle sont celles qui permettent généralement de laisser aux eaux le plus grand débouché, mais elles ont le désavantage de donner une grande poussée latérale, et de tendre, par suite, à renverser les culées ou les piles, si, par la destruction d'une arche voisine, l'une de ces dernières devait tenir lieu de culée. Il faut en outre, pour que cette forme soit employée convenablement, que les naissances soient au-dessus des hautes eaux, sinon les reins

apporteraient un grand obstacle à l'écoulement. A cause de la poussée latérale qu'exercent les voûtes en arc de cercle, et, par conséquent, de la pression que supportent les voussoirs, il faut des matériaux très-résistants pour cette espèce de voûte.

136. On ne peut rien dire que de très-général sur le choix que l'on doit faire entre les trois formes que nous venons de décrire, les circonstances locales en décident presque toujours. Sous le rapport du goût, les deux dernières paraissent flatter davantage, elles sont plus légères et plus élégantes; la première, avec une apparence de plus grande solidité, paraît d'un style plus grave.

137. Quand on n'a à construire qu'un pont d'une seule arche, la grandeur en est toujours déterminée par les circonstances locales; c'est la question du débouché. Quand, au contraire, le pont doit se composer de plusieurs arches, alors on peut les faire plus ou moins grandes; on sera fixé à cet égard par les considérations suivantes : si toutes les arches sont égales, le pont est horizontal, et l'on ne peut se débarrasser des eaux pluviales qu'en pratiquant des gargouilles dans les têtes, ou des ouvertures verticales dans les voûtes, et de cette manière, l'humidité occasionne toujours des dégradations dans la maçonnerie. Dans le même cas, les abords du pont sont ordinairement très-élevés, et l'on se trouve obligé de faire des remblais plus considérables et d'encombrer davantage les constructions qui se trouvent aux environs. Les avantages inhérents à cette égalité sont que les cintres des deux premières voûtes peuvent servir à la construction de toutes les autres.

Quand les diamètres des arches sont inégaux, on obtient une pente qui facilite l'écoulement des eaux et diminue la hauteur des levées. On ne doit jamais donner aux abords d'un pont une inclinaison de plus de deux centièmes.

138. Dans la construction des arches, on doit élever assez l'intrados de la voûte pour que, dans les crues, les corps flottants puissent trouver un passage facile. Le minimum de hauteur, au-dessus des grandes eaux est d'environ un mètre.

139. La largeur que l'on donne aux ponts dépend du degré de fréquentation du point de la route où ils sont construits, toutefois le minimum que l'on puisse fixer entre les parapets

est d'environ quatre à cinq mètres ; lorsqu'ils ont six à sept mètres, deux voitures peuvent passer à la fois, ainsi que des gens de pied. Il y a peu de circonstances où la largeur d'un pont doive dépasser 20 mètres, si l'on excepte les grandes villes.

140. Le tracé des arches en plein cintre et en arc de cercle, n'offre aucune difficulté. Les premières sont entièrement déterminées lorsqu'on a fixé leur ouverture, puisque cette forme est un demi-cercle dont cette ouverture est le diamètre, leur naissance est ordinairement située à la hauteur des fondations ou à celle des basses eaux. Il est rare que l'on puisse établir une voûte en plein cintre sur des pieds-droits. Dans les deuxièmes, le rayon de l'arc de cercle se détermine par la condition de placer les naissances à la hauteur des grandes eaux, et de ne pas élever le sommet de la voûte au-dessus d'un certain point dépendant des localités. Si, en satisfaisant à ces deux conditions, l'arc se trouve trop surbaissé, alors on doit renoncer à cette forme.

141. Les arches en anse de panier offrent plus de difficultés dans leur tracé. Les seules choses que l'on se donne pour décrire ces courbes sont les deux diamètres, le grand s'appelle ouverture, la moitié du petit prend le nom de montée ou de flèche ; or, il est possible de décrire une infinité de courbes sur deux diamètres donnés, en remplissant les seules conditions que l'on s'impose dans les anses de panier, savoir que la tangente au sommet soit horizontale, et les tangentes aux naissances, verticales.

La courbe qui résout d'abord le problème est l'ellipse ; mais on objecte que la courbure changeant d'un point à l'autre, il faut un panneau différent pour chaque voussoir, d'ailleurs elle laisse moins de débouché aux grandes eaux que les anses de panier proprement dites. Ces courbes sont composées d'un certain nombre d'arcs de cercle ; de trois, de cinq, de sept, etc., toujours en nombre impair.

Les deux arcs de cercle des naissances ont toujours leur centre sur la corde qui soutend l'ouverture, ou le grand diamètre ; l'arc de cercle du sommet a toujours son centre sur le prolongement du petit diamètre ; cela résulte de ce que les tangentes aux naissances et au sommet doivent être : les unes verticales, et l'autre horizontale.

Pour déterminer le problème qui consiste à faire passer une courbe en anse de panier par les trois points donnés,

on s'assujétit à remplir l'une et l'autre des conditions suivantes :

1° Que la courbure du premier arc, à partir des naissances, renferme celle de l'ellipse qui serait construite sur les deux diamètres, afin de donner à l'arche plus de débouché qu'elle n'en aurait si on employait cette ellipse.

2° Que le rayon de l'arc du sommet ne passe point une certaine limite qui, en général, ne doit guère être au-dessus du double de l'ouverture de l'arche. Ces deux conditions remplies, on fixe ensuite le nombre d'arcs de cercle que l'on veut employer.

ANSES DE PANIER A TROIS CENTRES.

142. Une première méthode graphique pour construire une anse de panier à trois centres, est indiquée par la figure 3; on porte de C en E une longueur égale à la différence des rayons AC — C D; sur C E, on construit un triangle équilatéral C E F; on abaisse la perpendiculaire F G; on reporte, par un arc de cercle ayant son centre en G, le point F en H, qui est le centre du petit arc. Pour avoir celui de l'arc au sommet, on construit encore un triangle équilatéral sur I H, et le point K est le centre cherché; cette construction conduit à une courbe dont les trois arcs mesurent chacun 60 degrés. Les centres H et I sont déterminés d'après cette condition.

Si l'on veut calculer à quelle distance du point C, se trouvent les centres I et H, on peut se servir de la formule

$$CH = 1{,}366\,(\overline{AC} - \overline{CD})$$

Deuxième méthode.

143. On peut décrire encore une courbe à trois centres, en joignant les extrémités A et D des deux rayons, fig. 4, retranchant de A D, une longueur E D égale à leur différence, et élevant sur le milieu F, de A E, une perpendiculaire qui coupe les rayons ou leur prolongement en deux points G et H, qui sont les centres cherchés.

On est conduit à cette construction, en exprimant analytiquement que les rayons des arcs diffèrent le moins possible

entre eux. La formule qui, dans ce cas, donnerait, par le calcul, la distance des centres G et I au point C, serait :

$$CG = \frac{(a-b)\,b}{a+b-\sqrt{a^2-b^2}}.$$

a et b représentant AC et CD. Lorsque l'arc est surbaissé au tiers, on a

$$CG = 0,48\,a \text{ environ.}$$

Le point G étant déterminé, il ne reste plus qu'à faire en G un angle C G H égal à l'angle C D A, pour obtenir le centre H.

DES ANSES DE PANIER A CINQ CENTRES.

144. Pour décrire une anse de panier à cinq centres, on fixe arbitrairement les rayons des arcs des naissances et du sommet (fig. 5), A I et D F, puis on cherche une moyenne proportionnelle entre les deux rayons r et R, de sorte que $R' = \sqrt{R\,r}$; du point I, avec un rayon égal à $R' - r$, on décrit un arc de cercle; du point F, avec un rayon $R - R'$, on décrit aussi un arc de cercle : leur point d'intersection donne le 3e centre.

Il est extrêmement rare que l'arche soit assez surbaissée pour que l'on ait besoin d'employer plus de cinq arcs de cercle dans la composition de l'anse de panier, aussi ne parlerons-nous pas de méthodes applicables aux courbes à un nombre quelconque de centres, comme étant trop compliquées.

145. Quelquefois on emploie pour décrire l'anse de panier, un moyen qui est le même que celui que nous avons indiqué dans la première partie (no 22, page 25), pour raccorder deux alignements ; on élève deux perpendiculaires à l'extrémité du grand diamètre, on mène une horizontale par l'extrémité du petit, et on trace, ainsi que nous l'avons indiqué, une portion de parabole dans chacun des angles de droite et de gauche.

DE L'ÉPAISSEUR DES VOUTES DES PONTS.

146. La moindre épaisseur d'une voûte de pont étant celle de la clef, on se contente de rechercher la plus petite valeur qu'elle puisse avoir. Perronet dit qu'on doit donner aux voussoirs de la clef une épaisseur égale au vingt-quatrième de l'ouverture, auxquels on ajoute 325 millimètres, et dont on retranche la cent-quarante-quatrième partie de cette ouverture. En appelant E l'épaisseur cherchée, D l'ouverture, on aurait :

$$E = \frac{1}{24}D + 0^{m}.325 - \frac{1}{144}D$$

ou ce qui revient au même

$$E = \frac{5}{144}D + 0{,}325$$

Quand la voûte est surbaissée, on peut encore employer la même formule ; mais D, au lieu de représenter l'ouverture, doit alors représenter le diamètre de l'arc de cercle du sommet.

Quand l'ouverture est au-dessus de trente mètres, cette règle paraît donner des épaisseurs trop fortes.

On a fait beaucoup de recherches pour déterminer, d'une manière un peu plus rigoureuse, l'épaisseur des voûtes, mais cette question ne semble pas susceptible d'une solution générale, puisqu'elle dépend en effet de la nature des matériaux et du genre de construction que l'on adopte.

DE L'ÉPAISSEUR DES CULÉES.

147. Les culées sont destinées à supporter les poids de la voûte et à s'opposer à la poussée horizontale qu'elle exerce. D'après la résistance à l'écrasement des matériaux qu'on emploie dans les constructions, les culées sont toujours plus épaisses qu'il ne le faut pour supporter, sans s'écraser, le poids de la voûte, quand elles peuvent résister, par leur poids

ou leur stabilité, à la force qui tend à les renverser. Nous n'avons donc à nous occuper que de l'épaisseur dépendante de la poussée.

L'expérience a démontré qu'une voûte, au moment où elle s'écroule, se partage en quatre portions, A, A'; B, B' (fig. 8), dont les deux supérieures tendent à renverser les deux inférieures, en les faisant tourner autour de leurs arêtes extérieures. Les points R R, qui sont appelés points de rupture, servent de points d'appui aux parties supérieures, qui transmettent ainsi aux culées l'effort qu'elles exercent. C'est cet effort qu'on nomme poussée horizontale.

Lorsque la voûte est élevée sur des pieds droits, alors on suppose qu'ils ne font qu'un seul corps avec les parties inférieures de la voûte, que la poussée tend également à écarter, en la faisant tourner sur son arête extérieure. On voit que, dans ce cas, la poussée agissant sur un plus grand bras de levier, l'épaisseur de la culée doit être plus considérable.

En appliquant le calcul à la recherche de l'équilibre des voûtes, on est parvenu à une formule assez simple en théorie, mais difficile en application et qui d'ailleurs ne donne que des résultats s'éloignant beaucoup de ce que la pratique a consacré. Nous n'exposerons donc point cette formule, nous nous bornerons à transcrire à la fin du chapitre, une table donnant les épaisseurs des culées pour certaines dimensions des voûtes.

DE L'ÉPAISSEUR DES PILES.

148. On peut considérer les piles de ponts sous deux points de vue principaux ; on peut les regarder comme destinées uniquement à supporter le poids des arches, ou bien encore à supporter ce même poids, et de plus à résister à la poussée des voûtes.

Sous le premier point de vue, leur épaisseur sera donnée par la comparaison du poids de la voûte à la résistance des matériaux employés. Les notions données à cet égard, dans le chapitre de la résistance des matériaux, suffiront pour indiquer la plus petite épaisseur à leur donner. Je dis la plus petite épaisseur, parce qu'en effet on dépasse toujours celle qui serait indiquée par ce calcul, à cause que l'on n'obtiendrait point assez de stabilité. Une pile très-étroite, quoique pouvant supporter le poids de la voûte, est exposée à être

détruite par un faible affouillement; des dégradations dans les matérieaux qui la composent peuvent la compromettre sérieusement.

Considérées sous le second point de vue, les piles doivent avoir la même épaisseur que les culées, mais nous ferons remarquer à cet égard que lorsqu'on construit des arches en arc de cercle ou en anse de panier très-surbaissées, cette épaisseur devient considérable et apporterait un grand obstacle à l'écoulement des eaux. Aussi est-on obligé, dans ce cas, de renoncer de faire faire fonction de culées aux piles, ou du moins, à plusieurs d'entre elles.

Lorsque les piles ne servent que de supports, il en résulte que la chute de l'une des arches entraîne celle de toutes les autres. Cette disposition nécessite en outre de cintrer tout le pont à la fois, ce qui est une dépense considérable. On diminue ce double inconvénient en partageant la construction en plusieurs parties terminées par des piles faisant fonction de culées.

DE LA FORME DES AVANT-BECS.

149. Lorsque les piles sont terminées carrément en amont, l'eau qui vient les frapper avec une certaine vitesse y forme un bourrelet, puis elle s'écoule en prenant, par rapport à la face longitudinale de la pile, une direction inclinée qui va rejoindre, vers le milieu de l'arche, un courant semblable, produit par les piles voisines. Cette déviation a pour effet de diminuer le débouché, d'augmenter notablement la vitesse en certains points et, par suite, de produire des affouillements. On a fait diverses expériences dans le but de connaître la forme la plus convenable à donner à ces avant-becs, et l'on adopte généralement le triangle équilatéral ou le demi-cercle. Les avant-becs ont la double destination de diminuer autant que possible la contraction de l'eau, et de briser les glaces qui viendraient heurter les piles. Ces considérations doivent guider, suivant les circonstances, dans le choix de la forme triangulaire ou circulaire. On doit les élever jusqu'à la hauteur des crues ou des débâcles. Quelquefois ils montent jusqu'à la hauteur du parapet, qui s'infléchit suivant leur contour, et forme ainsi des lieux d'abri pour les piétons, quelquefois ils sont surmontés de statues.

Il y aurait moins d'inconvénients à terminer les piles car-

rément en aval qu'en amont; cependant cette disposition présenterait quelques inconvénients, qu'on évite en partie en donnant aux arrière-becs la même forme qu'aux avant-becs. Quelquefois il tend à se produire en aval de la pile des tourbillonnements que les arrière-becs en arc de cercle empêchent. C'est une cause du moins de destruction des piles, car les tournoiements d'eau sont fort à redouter aux approches des constructions hydrauliques.

Les tables qui suivent sont extraites du cours de construction de Sganzin, elles ont été ainsi disposées par M. d'Aubuisson, elles donnent les épaisseurs à la clef et des culées que l'on peut adopter dans un projet. Elles supposent que les reins des voûtes sont remplis jusqu'au niveau de l'extrados de la clef, et qu'on met par-dessus un pavage ou mi-empierrement de 0m.40 d'épaisseur.

50. *Table donnant l'épaisseur des voûtes à la clef et des piles et culées dans les ponts et ponceaux en plein cintre.*

DIAMÈTRE des arches.	ÉPAISSEUR à la clef.	Epaisseur des piles et culées, la hauteur des pieds-droits étant						
		0m.	1m.	2m.	3m.	4m.	6m.	8m.
1	0.36	0.40	0.50	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80
2	0.40	0.45	0.70	0.80	0.80	0.95	1.00	1.10
3	0.43	0.50	0.80	0.95	1.05	1.15	1.25	1.35
4	0.46	0.60	0.90	1.10	1.20	1.30	1.40	1.50
5	0.50	0.65	1.00	1.20	1.30	1.45	1.55	1.70
6	0.53	0.75	1.10	1.30	1.45	1.60	1.75	1.90
7	0.56	0.85	1.20	1.40	1.60	1.75	1.90	2.10
8	0.60	0.95	1.30	1.50	1.70	1.85	2.10	2.25
9	0.63	1.05	1.40	1.60	1.85	2.00	2.25	2.40
10	0.67	1.20	1.50	1.75	2.00	2.15	2.40	2.60
12	0.74	1.40	1.75	2.00	2.20	2.40	2.65	2.90
15	0.84	1.75	2.10	2.30	2.60	2.81	3.15	3.40
20	1.04	2.30	2.65	2.80	3.10	3.35	3.65	4.00
30	1.35	3.25	3.55	3.80	4.10	4.40	4.80	5.20
40	1.69	4.20	4.50	4.80	5.10	5.40	5.80	6.20
50	2.06	5.15	5.40	5.80	6.10	6.40	6.80	7.20

151. *Table donnant l'épaisseur des voûtes à la clef et des piles et culées dans les ponts et ponceaux en anse de panier surbaissés au tiers.*

LARGEUR de l'arche.	ÉPAISSEUR à la clef.	Epaisseur des culées, la hauteur des pieds-droits étant						
		1m.	2m.	3m.	4m.	5m.	6m.	8m.
1	0.38	0.65	0.75	0.80	0.85	0.90	0.95	1.00
2	0.43	0.90	1.05	1.10	1.15	1.20	1.25	1.35
3	0.50	1.10	1.35	1.45	1.50	1.60	1.65	1.70
4	0.56	1.35	1.65	1.80	1.90	1.95	2.00	2.10
5	0.61	1.55	1.85	2.00	2.10	2.20	2.30	2.40
6	0.66	1.65	1.95	2.15	2.30	2.45	2.55	2.70
7	0.70	1.75	2.05	2.35	2.50	2.65	2.75	3.00
8	0.74	1.85	2.25	2.50	2.70	2.85	3.00	3.30
9	0.79	1.95	2.40	2.70	2.90	3.15	3.25	3.50
10	0.84	2.10	2.50	2.80	3.05	3.20	3.40	3.70
12	0.95	2.30	2.80	3.15	3.40	3.65	3.80	4.00
15	1.10	2.60	3.15	3.50	3.90	4.10	4.30	4.60
20	1.35	3.20	3.80	4.20	4.50	4.80	5.00	5.30
30	1.85	4.40	5.00	5.40	5.70	6.10	6.40	6.70
40	2.35	5.50	6.20	6.60	6.90	7.50	7.80	8.10
50	2.85	6.70	7.40	7.80	8.20	8.80	9.20	9.60

DES ABORDS DES PONTS.

152. Quand on a construit les voûtes d'un pont, on remblaie avec des terres derrière les culées, sur toute leur largeur, de sorte que le talus de ces terres dépasse de plus en plus le plan des têtes, à mesure que le remblai s'élève, et elles finiraient par s'étendre jusque dans le lit de la rivière et par obstruer le débouché, si on ne prenait certaines dispositions pour les maintenir. *ab* et *a' b'* (fig. 9) représentent les culées d'un pont, les lignes *t* et *t'* représentent les différentes positions du pied des talus des terres, suivant les différentes hauteurs du remblai. On voit qu'à partir du pont *b*, les lignes viennent, en s'arrondissant, s'appuyer contre le parement de la tête *b b'*, et qu'elles finissent, ainsi que nous l'avons dit, par obstruer le passage des eaux. Il y a deux moyens principaux d'éviter cela : 1° en prolongeant les murs *bb'*, de manière que le pied du talus des terres, en venant s'appuyer contre les têtes, ne puisse arriver jusqu'au parement intérieur de la culée. On a alors ce qu'on nomme des *murs en retour*. Les talus des terres de la levée sont terminés par un quart de cône dont le sommet est à l'extrémité *b''* du mur en retour, et dont la base repose sur le terrain naturel dans lequel se trouve creusé le lit du ruisseau. On garnit ordinairement le quart du cône d'un revêtement en pierres sèches, qu'on nomme *perré*, afin déviter les dégradations. La berge de la rivière, dont la ligne B représente l'arête supérieure, est garnie également par un perré. Les murs en retour sont d'une construction simple et ils ont l'avantage d'augmenter la résistance des culées.

153. Le second moyen consiste à construire un mur de soutènement dont l'évasement est déterminé par le point C, où le pied des talus des terres rencontre l'arête de la berge du ruisseau. On donne ordinairement à ce mur le nom de *mur en aile*. La partie supérieure est arrasée dans le plan même du talus des terres de la levée ; il se termine au point c par un dé en pierre de taille. Le parement extérieur, c'est-à-dire celui vers le ruisseau, est habituellement incliné d'environ un dixième. La stabilité du mur en aile serait d'autant plus grande que l'inclinaison, ou le *fruit*, qu'on lui donne, serait plus fort ; mais ici comme partout, d'autres considérations viennent poser une limite à cet accroissement : si le parement était trop incliné, les terres séjourneraient dessus et les végétaux détruiraient bientôt les joints.

154. Les murs en retour et en aile sont de véritables murs de soutènement auxquels on donne une épaisseur égale à celle des culées. Quelquefois on dispose le derrière des maçonneries en retraite ; on obtient, de cette manière, plus de stabilité, parce que le poids des terres, qui s'appuient sur les retraites, vient s'ajouter à celui du mur pour empêcher qu'il ne puisse tourner sur son arête extérieure et être renversé.

La théorie au moyen de laquelle on parvient à déterminer, par le calcul, l'épaisseur à donner au mur de soutènement, est assez compliquée : on se contente ordinairement dans la pratique de faire cette épaisseur égale au tiers ou aux deux cinquièmes de la hauteur des terres à soutenir. (M. Genieys donne le tableau suivant.)

155. *Table des épaisseurs à donner aux murs*

MAÇONNERIE DU MUR DE SOUTÈNEMENT.	TERRE ordinaire végétale, pesant 1100 kilog. le mètre cube.	TERRE argileuse, pesant 1240 kilog. le mètre cube.	TERRE mêlée de gros graviers, pesant 1600 kilog. le mètre cube.
Maçonnerie de briques, pesant 1750 kilog. le mètre cube.	$x=h(0,16)$	$x=h(0,17)$	$x=h(0,19)$
Maçonnerie de moellons pesant 2200 kilog. le mètre cube.	$x=h(0,15)$	$x=h(0,16)$	$x=h(0,17)$
Maçonnerie de pierres de taille, pesant 2700 kil. le mètre cube.	$x=h(0,13)$	$x=h(0,14)$	$x=h(0,16)$
Maçonnerie de cailloux roulés, pesant 2360 kilog. le mètre cube.	$x=h(0,14)$	$x=h(0,15)$	$x=h(0,17)$
Maçonnerie de briques et moellons, pesant 1950 kilog. le mètre cube.	$x=h(0,16)$	$x=h(0,17)$	$x=h(0,16)$
Maçonnerie de briques.	$x'=h(0,12)$	$x'=h(0,13)$	$x'=h(0,15)$
Id. de moellons. .	$x'=h(0,10)$	$x'=h(0,11)$	$x'=h(0,14)$
Id. de pierres de taille.	$x'=h(0,08)$	$x'=h(0,09)$	$x'=h(0,11)$
Id. de cailloux roulés.. . .	$x'=h(0,09)$	$x'=h(0,10)$	$x'=h(0,12)$
Id. de briques et moellons. .	$x'=h(0,11)$	$x'=h(0,12)$	$x'=h(0,14)$
Id. de pierres sèches, pesant 1460 kilog. le mètre cube.	$x'=h(0,22)$	$x'=h(0,24)$	$x'=h(0,25)$

de soutènement pour résister à la poussée.

TERRE mêlée de petits graviers pesant 1458 kilog. le mètre cube.	SABLE pesant 1340 kilogr. le mètre cube.	DÉCOMBRES, débris de roches, etc., pesant 1750 kilogr. le mètre cube.	TERRE savonneuse pesant 1580 kilog. le mètre cube.	OBSERVATIONS.
$x=h(0,19)$	$x=h(0,33)$	$x=h(0,24)$	$x=h(0.54)$	Dans ce tableau h représente la hauteur du mur et x l'épaisseur uniforme à lui donner pour faire *équilibre* aux remblais élevés jusqu'au niveau du couronnement et garnis couches par couches.
$x=h(0,17)$	$x=h(0,30)$	$x=h(0,22)$	$x=h(0,49)$	
$x=h(0,15)$	$x=h(0,26)$	$x=h(0,17)$	$x=h(0,44)$	
$x=h(0,16)$	$x=h(0,30)$	$x=h(0,21)$	$x=h(0,47)$	
$x=h(0,18)$	$x=h(0,32)$	$x=h(0,23)$	$x=h(0,51)$	
$x'=h(0,15)$	$x'=h(0,29)$	$x'=h(0,19)$	$x'=h(0,50)$	Dans ce second tableau, le mur est censé avoir un talus extérieur d'un vingtième de sa hauteur, et x' est son épaisseur en couronne.
$x'=h(0,13)$	$x'=h(0,29)$	$x'=h(0,17)$	$x'=h(0,44)$	
$x'=h(0,11)$	$x'=h(0,23)$	$x'=h(0,14)$	$x'=h(0,39)$	
$x'=h(0,12)$	$x'=h(0,25)$	$x'=h(0,15)$	$x'=h(0,42)$	
$x'=h(0,14)$	$x'=h(0,28)$	$x'=h(0,17)$	$x'=h(0,47)$	
$x'=h(0,26)$	$x'=h(0,37)$	»	»	

APPAREIL.

156. On appelle appareil, l'art de déterminer la forme des diverses pierres d'un pont ou de tout autre édifice, de manière à obtenir tout à la fois solidité et construction la plus simple possible, jointe à l'élégance des façades ou parties vues. S'il s'agit d'une voûte de pont, par exemple, l'appareilleur divise la construction dans le plan des têtes et dans la longueur, en un certain nombre de parties dont il détermine la forme, de sorte qu'il sait d'avance le nombre et les dimensions de toutes les pierres qui lui sont nécessaires. Le principe fondamental de l'appareil est que les différents joints des blocs de pierre doivent être dirigés suivant les lignes de plus grande et de plus petite courbure. Ces lignes sont, pour une voûte en berceau, telles que celles qu'on emploie pour les ponts, la courbe qui décrit l'arche, et les droites génératrices qui, par leur mouvement sur les deux courbes des têtes, produisent la surface de l'intrados.

Pour un mur de façade, les lignes de plus grande et de plus petite courbure sont les mêmes, c'est-à-dire toujours des lignes droites, de sorte que la direction des joints paraît être indéterminée ; mais la considération de la gravité indique celle qu'il faut adopter ; d'abord si l'on suppose le mur décomposé en bandes superposées, on voit que leur direction doit être horizontale, sinon chaque bande tendrait à glisser sur celle qui la supporte, ce qui serait une cause de ruine que l'horizontalité fait disparaître. Ainsi donc, en considération de la gravité, les joints longitudinaux ou continus doivent être horizontaux ou perpendiculaires à la gravité. Divisons maintenant chacune des bandes ou assises horizontales en un certain nombre de parties : on voit d'abord que les lignes de division doivent être verticales, sans quoi leur rencontre avec les joints horizontaux formerait des angles aigus qui tendraient à s'écraser sous le poids des parties supérieures de la construction. De plus, il est évident que les divisions d'une assise quelconque ne doivent pas correspondre avec celles des deux assises voisines ; car le mur se trouverait décomposé en piliers juxta-posés, entièrement indépendants les uns des autres, et n'aurait aucune stabilité ; il faut, au contraire, que les joints verticaux soient discontinus, c'est-à-dire qu'à un joint d'une assise corresponde le milieu des pierres qui composent les assises voisines. Ainsi donc, en considération de la gravité, les joints du deuxième système

doivent être discontinus, et verticaux ou parallèles à la gravité.

Par la combinaison des deux principes que nous venons d'énoncer sommairement, on parviendra, d'une manière sûre, à déterminer la direction de tous les joints d'une construction, de la manière la plus convenable.

CHAPITRE VIII.

Des fondations.

157. La première chose dont on a à s'occuper dans la construction d'un édifice quelconque, est la manière dont on établira les fondations. C'est de là que dépend la durée et l'avenir de l'ouvrage. Mais si les fondations ont la plus grande importance, dans tous les cas, on peut dire qu'elles méritent une attention encore plus particulière, quand il s'agit des ponts. Ici, il ne suffit pas comme ailleurs de rencontrer un terrain capable de supporter le poids de l'édifice, il faut encore qu'il puisse résister à l'action corrosive que les eaux ne cessent d'exercer.

On peut rencontrer, au fond des rivières, trois espèces différentes de terrains, sur lesquels on doit fonder :

1° Le terrain a une consistance telle qu'on peut y asseoir immédiatement la fondation, sans avoir rien à craindre ni des affouillements, ni de l'inégalité du tassement ;

2° Le terrain est composé de couches de matières peu consistantes et susceptibles d'être emportées par les eaux, mais au-dessous desquelles il se trouve d'autres couches plus solides, qui peuvent supporter le poids de la construction ;

3° Le terrain est composé de couches de matières sans consistance et très-compressibles, au-dessous desquelles on n'en trouve point d'autres, du moins à une profondeur que l'on puisse atteindre, qui soient en état de supporter le poids de la construction.

Nous allons examiner sommairement chacun de ces trois cas, et indiquer le mode de fondation qui leur convient.

1° *Fondations sur terrain naturel.*

158. Le rocher est le seul fond sur lequel on puisse s'établir sans crainte, et encore faut-il qu'il soit d'une nature résistante ; ainsi on ne pourrait fonder sans danger sur certaines roches calcaires tendres et qui sont décomposées par l'eau, sur les granites schisteux ou feuilletés, sur schistes proprement dits. Mais, dans les derniers cas même, ce fond offre cependant une qualité dont il faut user, en parant aux inconvénients qui y sont inhérents ; ces roches sont capables de

supporter la charge de l'édifice, mais ne résistent point à l'action corrosive des eaux, on les défend contre cette action en recouvrant tout l'emplacement de la construction d'un radier ou pavage général.

Un rocher en apparence très-résistant, tant à la charge qu'aux affouillements, peut cependant offrir un danger d'une autre nature ; il peut n'avoir qu'une faible épaisseur, et reposer sur des couches compressibles, de sorte qu'il serait susceptible de rompre sous la charge et de compromettre l'édifice. On doit s'assurer de son épaisseur en le perçant, et, si l'on craint le danger que nous venons de signaler, le charger d'un poids supérieur à celui qu'il doit porter.

139. Lorsqu'on a acquis la conviction que l'on peut fonder sur le rocher avec sécurité et qu'il ne se trouve pas à plus de 1 ou 2 mètres au-dessous du niveau des basses eaux, on entoure l'espace destiné à la fondation d'un bâtardeau composé de deux enceintes de pieux et palplanches, dans l'intervalle desquelles on drague le gravier et la vase qui peuvent s'y trouver, et où l'on met ensuite de la terre franche ou argileuse. On doit éviter, dans le massif de terre, les pièces transversales, destinées à maintenir l'écartement des pieux, d'une enceinte à l'autre.

On épuise ensuite dans l'emplacement de la fondation, on dérase le rocher de niveau, ou par gradins opposés à la poussée, et on établit la maçonnerie.

Lorsque le rocher est de plus de deux mètres au-dessous du niveau des basses eaux, on a à redouter de ne pouvoir le mettre à découvert au moyen des épuisements; car on ne peut espérer que des bâtardeaux d'une grande hauteur soient bien étanches, d'ailleurs la dépense qu'ils occasionnent est considérable. On renonce alors à cette manière d'établir les fondations. On forme une caisse sans fond ou plutôt une espèce de tronc de pyramide renversé, dont les faces ont environ 1/6 d'inclinaison, avec des arbres bien droits juxta-posés, dont on met le gros bout en bas, en le faisant dépasser plus ou moins, suivant les inégalités que l'on a reconnues sur le rocher, à l'aide de sondes faites dans le pourtour même que doit occuper cette caisse. Les arbres juxta-posés sont maintenus par des liernes extérieures et intérieures, entre lesquelles ils peuvent cependant glisser à frottement. On consolide tout le système à l'aide d'entretoises traversant la caisse. On fait ensuite échouer cette caisse à l'emplacement déterminé, et on fait porter successivement le gros bout de tous les arbres sur le rocher, en les frappant et les faisant glisser dans les liernes. Alors on remplit de béton, mélangé

de moellons et de libages en boutisses, placés tout au pourtour à une petite distance les uns des autres. De cette manière, on peut descendre la fondation jusqu'à huit ou dix mètres.

La maçonnerie en bétonnage est élevée jusqu'à 20 ou 30 centimètres au-dessous du niveau des basses eaux, la caisse recepée à la même hauteur, et les pilots qui la forment, reliés entre eux par un chapeau fixé avec de fortes chevilles en fer, puis on laisse le tout tasser et prendre de la consistance pendant plusieurs mois, et même un an, si c'est jugé nécessaire.

En préservant des affouillements le tuf, la glaise et l'argile, durs et mêlés de gravier, on peut y établir sans pilotage une fondation solide. On peut en agir de même, quand on rencontre de l'argile franche et dure, mais il faut donner beaucoup d'empâtement à la fondation pour éviter l'amollissement par le contact de l'eau, quelquefois il peut même être utile de la faire porter sur un grillage en charpente.

2° *Fondations sur pilotis.*

160. Cette fondation convient aux fonds qui ont peu de consistance, tels que la glaise peu compacte ramollie par l'eau, la terre franche, la vase, la tourbe, les sables bouillants, le sable pur et le gravier qui sont exposés à s'affouiller facilement. Mais il faut que les pilotis puissent atteindre un fond résistant capable de supporter la charge. On s'assure de cela en battant des pieux jusqu'au refus, c'est-à-dire, jusqu'à ce qu'ils n'entrent plus que de 2 à 3 millimètres par volée; on doit toutefois tâcher de bien distinguer le refus absolu du refus apparont : le premier tient à ce que le pilot porte réellement sur un fond résistant; le second, au contraire, ne provient que du frottement qu'il éprouve contre les parois du trou qu'il s'est ouvert. Ce frottement est très-considérable, principalement dans les terrains sablonneux; on peut avoir la presque certitude qu'on a atteint le refus absolu, si un pilot, abandonné à lui-même pendant quelques jours, et rebattu ensuite, ne marche pas plus qu'à la fin du premier battage. Dans les terrains vaseux le refus apparent n'est point à craindre. Il arrive quelquefois que quand on a battu plusieurs pieux dans la glaise molle, les derniers cèdent au choc du mouton, en soulevant le terrain, mais reprennent ensuite leur première position : dans ce cas, il vaut mieux fonder sur un large grillage.

Quand on a battu les pieux, on peut suivre trois méthodes différentes dans l'exécution des fondations : 1° par épuisements; 2° au moyen d'un caisson; 3° sur grillage.

161. La première méthode consiste à entourer de bâtardeaux l'emplacement de la pile ou culée qu'on veut construire, à le mettre à sec, et à déblayer aussi bas que possible le terrain, dans l'intervalle des pieux et à l'entour de la fondation. On remplit ensuite cet espace en maçonnerie de pierres sèches ou en béton, on pose sur les pieux un grillage composé de longuerines et traversines, dont les cases sont également remplies de béton, enfin on recouvre le tout d'une plate-forme de madriers sur laquelle on maçonne en continuant d'épuiser jusqu'à ce que la construction soit élevée au-dessus du niveau de la rivière.

La plus grande profondeur à laquelle on puisse descendre, de cette manière, la première assise des fondations, est d'environ 2 mètres, et encore ce moyen est-il très-coûteux à cause des épuisements.

162. La seconde méthode, dite par caisson, permet de descendre beaucoup plus bas les premières assises. Voici en quoi elle consiste : on recèpe les pieux exactement de niveau à la profondeur que l'on a fixée ; sur une plate-forme solide, en bois, de la forme de la pile ou culée, on adapte des bords d'une hauteur convenable ; on calfate le tout et on amène cette espèce de bateau à l'emplacement même de la construction ; on construit ensuite la maçonnerie, et tout s'enfonce à mesure que le poids devient plus considérable, jusqu'à ce que enfin la plate-forme porte sur les pieux ; on élève ainsi la maçonnerie jusqu'au-dessus des basses eaux, puis les bords sont ôtés pour servir à une autre fondation.

Dans cette méthode, comme dans la précédente, on doit draguer le terrain entre les pieux, et remplir de maçonnerie de béton ou d'enrochement en pierres sèches.

163. En descendant les premières assises aussi bas que possible, soit par épuisement, soit au moyen de caissons, on cherche à donner plus de solidité à la construction. Mais si l'on remarque que toute la solidité d'une construction sur pilotis dépend uniquement de la consistance du terrain sur lequel posent les pieux, on sera convaincu que le plus ou moins de profondeur, à laquelle on peut descendre les premières assises, n'a pas l'importance qu'on lui donne. Aussi abandonne-t-on souvent les deux premières méthodes pour la troisième, qui consiste à placer un grillage sur la tête des pieux récépés à 30 ou 40 centimètres au-dessous des plus basses eaux, et dont les intervalles sont remplis de béton jusqu'à l'arrasement du grillage. On pose sur le tout la première assise dont l'épaisseur doit s'élever au-dessus du ni-

veau des eaux. Dans cette méthode, on garnit l'enceinte de la pile ou culée de pieux ou palplanches jointifs, en les inclinant en dedans; ils maintiennent le bétonnage que l'on fait jusqu'à la hauteur du grillage.

FONDATIONS PAR ENCAISSEMENT ET SUR RADIER GÉNÉRAL.

164. Cette méthode consiste à battre, dans toute la largeur de la rivière, au moins deux files de pieux et palplanches, l'une en amont, l'autre en aval de l'emplacement du pont. On drague ensuite sur une certaine profondeur entre les deux files de palplanches, et on construit un radier général sur lequel repose toute la construction.

Lorsque le terrain a peu de consistance, on parvient à l'augmenter sensiblement, en y enfonçant de petits pieux de 2 à 3 mètres, en très-grand nombre, et jusqu'à ce que le terrain commence à refluer. On peut encore se servir de longs libages qu'on entasse debout et qui resserrent fortement le terrain. Quelquefois ces moyens secondaires sont seuls suffisants sans avoir recours à l'encaissement général, qui doit s'employer surtout quand on craint les affouillements.

DES PIEUX, PILOTS ET PALPLANCHES.

165. On distingue ordinairement les *pieux* des *pilots* ou *pilotis*; les premiers ont une grande partie de leur longueur hors du terrain, comme dans les ponts en bois, les autres y sont entièrement enfoncés.

Perronet nomme *pieux* ceux qui sont employés à porter un édifice construit hors de l'eau, et *pilots* ou *pilotis*, ceux qui portent un ouvrage fondé sous les basses eaux.

Les arbres de droit fil sont très-bons pour faire des pieux, on ne doit point les équarrir, afin de ne pas trancher les anneaux ligneux, dont la contexture, plus serrée que celle des interstices qui se trouvent de l'un à l'autre de ces anneaux, résistent mieux dans les arbres entiers.

La grosseur à donner aux pieux est d'environ 25 à 30 centimètres au milieu, pour une longueur de 5 à 6 mètres, et ensuite environ 2 à 3 centimètres de plus par mètre de longueur au-delà.

On doit ôter l'écorce qui augmente le frottement sans ajouter de force au bois, mais conserver l'aubier qui, dans les chênes par exemple, n'a guère qu'un quinzième de force de moins que dans le bois du cœur.

La longueur de *fiche* d'un pieu est la quantité dont il est entré dans le terrain avant d'arriver au refus absolu.

On calcule d'après la résistance des bois à l'écrasement le nombre de pieux qu'on doit employer dans tel ou tel cas.

L'expérience indique qu'il faut que le minimum d'espacement des pieux soit d'environ 80 centimètres, afin de ne point trop comprimer le terrain.

On enfonce les pieux au moyen de la percussion; on se sert à cet effet de *Sonnettes*, soit à tirandes, soit à déclic. Dans la première, les hommes enlèvent à l'aide de cordes, le corps qui produit la percussion et qu'on nomme *mouton*, et le laissent retomber en lâchant toutes les cordes en même temps; dans la seconde, on enlève le mouton au moyen d'un cabestan, et quand il a atteint la limite de la hauteur à laquelle on veut l'élever, une détente le rend indépendant du cable qui le soutient, il retombe sur la tête du pieu.

Le mouton pèse ordinairement de 3 à 400 kilogrammes, le nombre d'hommes employés à la sonnette à tirandes doit être tel que chacun n'ait que 14 à 15 kilogrammes à élever à la hauteur de $1^{m}.30$ par seconde.

On appelle volée une suite de trente percussions, après chaque volée l'équipage se repose une demi-minute.

Le calcul indique que pour un même pieu et un même mouton, l'enfoncement produit à chaque percussion, est proportionnel à la hauteur de la chute.

Les palplanches sont des pieux plus larges et moins épais que ceux dont nous venons de parler; on les emploie dans les encaissements, en les battant les unes à côté des autres. Afin qu'elles restent bien solidaires, on les coupe, dans leur longueur, en rainure d'un côté et en grain d'orge de l'autre (fig. 10); de cette manière, une première palplanche étant placée, la deuxième glisse contre elle, comme dans une coulisse; afin qu'elles restent bien jointives pendant le battage, on coupe le pied en biseau de manière que la dernière que l'on bat tend toujours à se resserrer contre celle qui a précédé. D'après la figure 10, le battage aurait lieu en allant de gauche à droite.

SONDAGE DU TERRAIN.

166. Avant de se fixer sur le mode de fondation à adopter, on doit reconnaître la nature du terrain. Le moyen le plus économique d'obtenir des notions précises à cet égard est le sondage.

On se sert quelquefois pour cette opération d'une forte tige

de fer pointue, que l'on enfonce à coups de maillets, et que l'on retire ensuite avec des leviers. Sur les parois de cette barre, sont pratiquées obliquement des cavités dirigées de haut en bas, qui se remplissent de terre lorsqu'on retire la tige, et donnent ainsi des échantillons du terrain existant à la profondeur où se trouvaient les trous, quand on a retiré la sonde.

Ce moyen est très-pénible et ne donne pas des indications bien certaines; une petite sonde, de la même espèce que celle dont on se sert pour forer les puits artésiens, ou rechercher les minéraux qui se trouvent à une grande profondeur sous terre, est l'instrument le plus commode et celui qui donne les résultats les plus certains. Voici en quoi consiste cette sonde : d'abord un nombre plus ou moins grand de tiges de fer de 2 à 3 centimètres de diamètre, sur 2 à 3 mètres de longueur, s'ajustant les unes aux autres, au moyen d'emmanchement à vis (fig. 11), de telle sorte que chaque tige est munie, à chacune de ses extrémités, d'un emmanchement femelle à sa partie inférieure et d'un emmanchement mâle à sa partie supérieure. On pourrait croire que cette manière d'assembler les tiges ne permet de tourner que dans un seul sens, lorsqu'on fore; il n'en est rien, lorsque les vis sont bien serrées; on peut tourner indifféremment à droite ou à gauche; si l'une des vis vient à se desserrer, on en est averti par un coup semblable à celui d'un coup de fouet.

A la dernière tige est adapté l'outil dont on se sert pour forer, il varie suivant le plus ou moins de dureté du terrain que l'on traverse. Le plus souvent, on se sert de tarières ouvertes, semblables, mais en grand, aux tarières dont font usage les charpentiers. Si l'on rencontre des cailloux, on remplace la tarière par un ciseau acéré qui sert à les briser, etc.

Quand on doit forer à une certaine profondeur, on se sert d'un cabestan pour retirer la sonde. Lorsqu'au contraire on ne doit descendre que de quelques mètres, le simple effort des hommes qui la manœuvrent est souvent suffisant, si l'on a eu soin surtout de donner, en commençant, un grand diamètre au trou.

Si, dans le sondage, on rencontre des sables qui s'éboulent, on est obligé de tuber, c'est-à-dire que l'on enfonce des tubes en bois ou en tôle, jusqu'au-dessous de la couche de sable, et on continue ensuite en introduisant la sonde dans l'intérieur même du tube.

Le tubage est très-facile à faire. Il suffit de prendre des

tubes de sept à huit centimètres de diamètre, en forte tôle. Tout chaudronnier peut les fabriquer. Chaque tronçon, de 90 centimètres à un mètre de longueur, est enveloppé, à l'une de ses extrémités, d'un manchon de dix à douze centimètres de hauteur, en tôle plus mince, dans lequel le tronçon suivant entre à frottement et vient s'appuyer par son épaisseur sur l'épaisseur du tronçon inférieur. A cet effet, on comprend que tous les tuyaux doivent être exactement de même diamètre.

Pour enfoncer les tuyaux on agit sur eux par pression, au moyen de pesées faites avec des leviers, on peut aider à la descente en faisant porter, sur le bord du tuyau supérieur qui pousse tous ceux déjà introduits, le poids de la partie de sonde déjà engagée dans le trou.

Quand un premier tubage ne peut plus descendre, soit à cause du frottement des terrains qui le pressent, soit par suite de quelque accident, on en introduit un autre, de diamètre plus petit, dans le premier, et on le fait descendre avec le sondage, en ajoutant par le haut des tronçons successifs de tube. De cette manière, la partie supérieure du sondage contient deux tubages concentriques. C'est un petit excédant de dépense, mais, sans cet expédient, on serait quelquefois obligé d'abandonner un sondage déjà profond, dans lequel le premier tubage ne peut plus être enfoncé.

DES BATARDEAUX.

167. Quand on veut fonder par épuisements, on doit entourer la superficie des fondations par des batardeaux. Il y a trois manières principales de les construire :

1° Lorsque la profondeur à laquelle on veut descendre les épuisements n'est pas considérable, qu'elle ne dépasse pas un mètre, par exemple, on peut se contenter d'une banquette en terre bien battue, dont l'épaisseur en couronne doit être égale à la hauteur d'eau que le bâtardeau doit soutenir. Dans le même cas, on peut battre autour de l'espace à épuiser, une file de pilots, contre lesquels on adapte ensuite des planches jointives, ou assemblées d'avance avec des traverses ; derrière, on pilonne de la terre franche ou argileuse, et on a un batardeau qui est moins sujet que le précédent à être dégradé par les manœuvres du côté des fouilles. Avant de porter les remblais du batardeau, on doit enlever les terres perméables du fond, au moins jusqu'à la profondeur à laquelle on veut épuiser.

2° Quand la hauteur d'eau doit être de un mètre et demi à

deux mètres, le batardeau se compose de deux files de pilots, espacés, dans chaque file, d'environ deux mètres, et d'une file à l'autre, d'une quantité au moins égale à la plus grande hauteur à soutenir. On adosse ensuite, contre chaque file du côté intérieur, des planches jointives, puis on remplit de terre glaise pilonnée. Il faut, pour se décider à adopter ces batardeaux, que le fond ne soit point trop perméable à l'eau.

3° Quand on doit descendre les épuisements à une profondeur de trois mètres environ, et qu'il faut draguer dans l'intérieur du batardeau afin de parvenir à des couches moins perméables, on remplace dans le batardeau précédent, les planches jointives par des palplanches, qui doivent prendre environ un mètre de fiche au-dessous des terres à rapporter dans l'intérieur.

168. Quand on a plusieurs piles à fonder, on doit examiner avec soin s'il y a économie à les enceindre toutes d'un même batardeau ou à les fonder successivement. Si l'on prévoit peu d'épuisements, la première méthode est préférable; si, au contraire, la perméabilité du terrain fait présumer qu'ils seront abondants, on doit enceindre chaque pile d'un batardeau.

Lorsque dans les épuisements on rencontre des sources abondantes, on doit essayer de les éteindre ou tout au moins d'en diminuer les produits. Les moyens employés consistent à introduire dans l'orifice d'où l'eau s'échappe, de la terre argileuse sèche, qui se gonfle dans le trou par l'humidité, ou un mélange de chaux vive et de mortier; lorsqu'on ne réussit point de cette manière, on peut renfermer la source dans un petit batardeau, et laisser le niveau des eaux s'y élever jusqu'à ce que l'écoulement n'ait plus lieu, ou jusqu'à ce qu'on puisse la faire déverser en dehors des fondations.

Lorsque les eaux à épuiser proviennent d'une grande quantité de petites filtrations, qui se font jour sur tous les points de la superficie des fondations, il peut y avoir avantage à faire un batardeau de fond. On drague et on régale à la profondeur convenable, puis on verse une couche de terre franche ou argileuse de trente à quarante centimètres d'épaisseur, que l'on recouvre et maintient par un plancher en bois, composé de panneaux jointifs que l'on assujétit au fond de l'eau en les chargeant de pierres.

On peut remplacer quelquefois le batardeau, que nous venons de décrire, par une couche de béton à laquelle on

laisse le temps de faire prise, elle doit avoir au moins soixante à soixante-dix centimètres d'épaisseur. Une précaution commune à toutes les espèces de bâtardeaux, est que la couche de terre ne soit pas traversée par des pièces de bois, le long desquelles les filtrations ne tarderaient pas à se manifester.

Si, malgré toutes les précautions que l'on a dû prendre dans la construction d'un bâtardeau, l'eau parvient à se faire un passage au-dessous ou au travers, ce qu'on nomme un *renard*, on remédie à cet accident, soit en enlevant, en cet endroit, la terre argileuse et la remplaçant par d'autre pilonnée avec le plus grand soin, soit en faisant un contre-bâtardeau adossé au premier, en dedans ou en dehors de l'enceinte.

Les bâtardeaux servant ordinairement de chemins de service, on ne doit pas hésiter à leur donner un peu plus d'épaisseur que celle rigoureusement nécessaire pour soutenir le poids de l'eau ; on n'augmente la dépense que de peu de chose, car les pilots et les palplanches sont ce qu'il y a de plus coûteux dans leur construction.

DES ÉPUISEMENTS.

169. Les conditions essentielles auxquelles doivent satisfaire les machines à épuiser dans les grands travaux, sont de se prêter facilement aux variations de hauteur à laquelle on déverse les eaux, d'occuper le moindre espace possible, d'être faciles à déplacer et à transporter, et ne pas nécessiter un trop grand entretien, ou être d'une construction simple et de manière à pouvoir être réparées par les ouvriers du pays.

La meilleure machine à épuiser est celle à l'aide de laquelle on élève, au plus bas prix, un volume d'eau donné à une hauteur déterminée. Il suit, de cette définition, que les meilleures machines à épuiser ne sont pas toujours celles où l'effet utile est le plus grand, par rapport à la force dépensée par le moteur, condition que l'on cherche toujours à remplir, dans les machines qui doivent agir d'une manière continue.

Les principaux moteurs des machines à épuiser sont : les hommes, les chevaux et les roues hydrauliques. Les principales machines sont : la pelle hollandaise, le baquet ou van, la vis d'Archimède, le chapelet incliné ou vertical et les pompes.

170. On peut juger, d'après le tableau suivant, quelles sont celles que l'on doit préférer.

MACHINES.	VOLUME d'eau qu'un homme élève à 1 mètre de hauteur par jour.	EFFET UTILE.	PRIX d'un mètre cube d'eau élevé à 1m.	OBSERVATIONS.
Baquetage avec des seaux.	46m	0.66	0.042	
Chapelet incliné, mu par des hommes.	68	0.44	0.035	
Pompes.	84	0.50	0.028	Au canal de St.-Quentin l'élévation d'un mètre cube d'eau à un mètre de hauteur, au moyen de seaux mus par un treuil, coûte 0,01 fr.
Vis d'Archimède.	90	0.58	0.023	
Chapelet vertical. . . .	117	0.75	0.021	
Chapelet incliné, mu par des chevaux.	»	0.37	0.013	

La vis d'Archimède étant l'une des machines les plus usuelles dans les travaux de quelque importance, les renseignements, contenus dans le tableau suivant, pourront être de quelque utilité.

DEGRÉS auxquels le produit est nul.	NOMBRE de tours par heure.	LONGUEUR.	DIAMÈTRE.	DEGRÉS d'inclinaison avec l'horizon.	PRODUIT par heure.	ÉLÉVATION.
55°	7200	3.90	0.16	45	1.37	2.51
				40	3.08	2.27
				35	5.14	2.00
				30	6.17	1.70
57°	6600	4.55	0.22	50	1.88	3.25
				45	4.39	2.97
				40	8.16	2.68
				35	11.93	2.35
				30	21.28	2.03
58° 1/2	6000	5.20	0.27	50	5.14	3.65
				45	10.28	3.38
				40	17.14	3.03
				35	22.28	2.73
				30	25.12	2 27

DEGRÉS auxquels le produit est nul.	NOMBRE de tours par heure.	LONGUEUR.	DIAMÈTRE.	DEGRÉS d'inclinaison avec l'horizon.	PRODUIT par heure.	ÉLÉVATION.
61°	5400	4.85	0.32	55	2.57	4.44
				50	8.74	4.14
				45	15.42	3.84
				40	25.68	3.41
				35	34.96	2.98
				30	40.10	2.60
62°	4800	6.50	0.38	55	2.06	4.95
				50	3.17	4.60
				45	19.20	4.22
				40	38.39	3.81
				35	53.47	3.33
				30	65.85	3.92
62°	4200	7.47	0.43	55	2.40	5.76
				50	9.60	5.36
				45	25.19	4.92
				40	51.39	4.38
				35	72.12	3.70
				30	86.38	3.33

62°	3600	8.45	0.94	55	5.14	6.44
				50	14.40	6.01
				45	37.02	5.52
				40	67.87	4.95
				35	102.83	4.33
				30	129.57	3.81
63°	3000	9.75	0.54	55	6.85	7.47
				50	22.28	6.98
				45	47.99	6.33
				40	85.32	5.68
				35	118.26	5.03
				30	135.40	4.03
Servie par deux hommes.	1800	2.60	0.49	30	18.48	1.14
Servie par cinq hommes.	»	5.85	0.49	30	22.21	2.60
Servie par neuf hommes.	2400	5.85	0.49	»	45.00	3.30

Quelquefois on applique les hommes à la manivelle même dont se trouvent armées les vis d'Archimède ; alors ils emploient mal leur force, à cause de l'inclinaison de la manivelle ; on obtient de meilleurs résultats en adaptant des leviers ou balanciers que les hommes tirent ou poussent alternativement ; ou bien encore des cordes que les hommes, divisés en deux groupes de chaque côté de la manivelle, tirent alternativement. Peut-être serait-il encore plus avantageux de rendre la manivelle droite au moyen d'un engrenage conique.

DES CINTRES.

171. Lorsque, dans la construction d'une voûte, on a placé les premières assises, ou les premiers cours de voussoirs, on sent la nécessité de soutenir les assises suivantes, qui, posées sur des points de plus en plus inclinés, finissent par glisser si on ne s'oppose à ce mouvement ; de là la nécessité des cintres, qui sont une voûte provisoire en charpente, ayant même forme que celle en maçonnerie.

Un cintre se compose de plusieurs *fermes* ; c'est-à-dire de plusieurs assemblages de charpente disposés dans des plans verticaux, arrondis extérieurement, à peu près suivant la courbe de la voûte. Les fermes sont plus ou moins espacées entre elles, suivant la charge qu'elles ont à supporter ; elles sont rendues dépendantes les unes des autres par des moises horizontales ou inclinées, qui empêchent leur déversement.

Entre l'extrados des fermes et l'intrados de la voûte, il y a une certaine distance, de 20, 30, 40 et même 50 centimètres. Ce vide est rempli par des pièces longitudinales, nommées *couchis*, reposant sur les fermes, à l'aide de cales, et supportant de la même manière les cours de voussoirs. Les cales permettent de relever plus ou moins chaque cours de couchis, et par suite le cours de voussoirs qu'il supporte.

Les cintres pour les ponceaux ou les arches d'une petite ouverture, se composent ordinairement de deux petits potelets PP (fig. 12), d'un extrait E, de deux arbalétriers AA, d'un poinçon P', et de deux cordes VV, qu'on nomme *vaux*, sur lesquelles reposent les couchis.

Chaque ferme est composée de la même manière. On les espace ordinairement de deux mètres, de milieu en milieu. Les bois dont on les compose ont un équarrissage qui varie de 18 à 30 centimètres, suivant l'ouverture ; avec la dernière dimension, on peut construire des cintres, comme ceux indiqués, pour des arches de 8 à 10 mètres d'ouverture. Quand elles sont plus grandes, on emploie du bois de plus forte

dimension. Alors, au lieu de deux arbalétriers, on en met trois, disposés comme le montre la figure 13, c'est-à-dire qu'on met, d'un milieu à l'autre, des arbalétriers, des pièces de bois nommées *esseliers*, qui les empêchent de fléchir ; et au droit des joints, des petits potelets nommés *décharge*, qui soutiennent les *vaux*, on peut ainsi construire des cintres pour des arches de 15 à 20 mètres d'ouverture, avec des bois de 32 à 35 centimètres d'équarrissage.

Quand on veut décintrer, on commence par enlever les couchis qui se trouvent sous les reins de la voûte, en ruinant les cales par lesquelles ils s'appuient sur les vaux. Cette opération doit être conduite avec lenteur, et marcher également des deux côtés. Lorsqu'une portion de la voûte ne porte plus sur les cintres, elle se tasse. Il faut avoir soin que le tassement se fasse lentement, car si la maçonnerie pouvait prendre une vitesse appréciable, la ruine de l'arche s'en suivrait inévitablement. On ne doit commencer le décintrement que lorsqu'on est assuré que les mortiers ont déjà pris une certaine consistance.

CHAPITRE IX.

Projet d'un pontceau de trois mètres d'ouverture.

172. Nous terminerons les notions sommaires que nous venons d'exposer sur la construction des ponts et pontceaux, en donnant le projet complet d'un pontceau de trois mètres d'ouverture, tel qu'il doit être soumis à l'approbation.

Les pièces que comporte un projet de cette nature, sont :

1° Un rapport ou mémoire ;
2° Les dessins ;
3° Les devis ;
4° Le détail estimatif et l'analyse des prix.

1° Le rapport ou mémoire indique les motifs d'après lesquels l'auteur du projet s'est déterminé pour adopter le débouché proposé, la forme de la voûte, le genre de fondations, la construction en pierres de taille, en briques ou en moellons, et enfin toutes les dispositions particulières au projet qu'il présente, ou nécessitées par des circonstances locales.

En ce qui concerne le débouché, on indique les calculs que l'on a pu faire d'après les méthodes précédemment exposées ; on rapporte les dimensions analogues des ouvrages existants sur le même cours d'eau ; on dit les motifs qui ont pu porter à les prendre égales, à les diminuer ou à les augmenter ; enfin, on indique la largeur moyenne du ruisseau, le niveau ordinaire des eaux, celui en temps de crues et de débâcles.

Pour la forme de la voûte, on est porté à adopter le plein cintre, l'arc de cercle ou les anses de paniers, suivant que le dessus du pont peut être élevé sans inconvénient, ou qu'il y a économie à l'abaisser le plus possible, parce qu'on a moins de remblais à faire aux abords.

Pour les fondations, on indique ce que les sondages ont appris sur la plus ou moins grande consistance du sol sur lequel elles porteront, sur sa nature, sur sa perméabilité, d'où l'on déduit la nécessité de fonder sur pilotis, par encaissement, sur grillage, ou sur un massif de béton, de construire un radier général.

Pour le genre de construction, on est guidé par le prix des

matériaux à employer, par leurs qualités, par leur plus ou moins grande résistance aux intempéries de l'atmosphère.

Pour les dispositions particulières, on dit ce qui les a motivées : par exemple, arrive-t-on sur le ponceau par des remblais élevés au-dessus du niveau général du terrain, il convient de faire des banquettes pour éviter les accidents ; alors les plinthes qui couronnent les ponceaux peuvent tenir lieu des garde-corps, ou des bornes que l'on est dans l'usage de mettre, en les taillant suivant le profil des banquettes.

2° Des dessins.

Les dessins doivent comprendre un plan général de l'ouvrage et de ses abords ; une élévation du ponceau, une coupe en travers et une coupe en long.

3° Du devis.

173. On doit généralement diviser le devis en quatre chapitres portant les titres suivants :

1° Description générale ;
2° Détails de construction et exécution des ouvrages ;
3° Nature des matériaux ;
4° Conditions.

On divise d'ailleurs chaque chapitre en autant de paragraphes que l'on juge nécessaire.

4° Détail estimatif.

174. Le détail estimatif est divisé en trois chapitres portant les titres suivants :

1° Métrage ;
2° Sous-détails et détails de prix ;
3° Estimation ou application des prix.

175. Quand on a arrêté, d'après les considérations qui précèdent, le débouché et la forme de l'arche, on commence par les tracer (fig. 14), on divise ensuite les voûtes en un certain nombre de voussoirs que l'on raccorde avec les assises horizontales. On donne au voussoir formant clef, ainsi qu'aux voisins, une longueur plus grande que l'épaisseur de la voûte. On est conduit à cet excédant de dimension par le calcul suivant :

D'abord la voûte doit être recouverte d'une chape de. 0m.05

Sur cette chape on doit mettre un remblai en terre, d'au moins. 0m.15

Sur le remblai est établie la chaussée en cailloux, dont l'épaisseur est de. 0m.25

Le milieu de la chaussée se trouve donc de. . . 0m.45
plus élevé que l'extrados de la voûte, mais à cause
de la pente des accotements, qui, à raison de 0.04
par mètre, est de. 0m.16

Pour une route de 8 mètres, les remblais derrière les têtes ne s'élèvent au-dessus de l'extrados
que de. 0m.29

Il faut racheter cette différence, soit par une plus grande longueur des voussoirs de tête, lorsqu'elle n'est pas considérable, soit par une assise reposant sur ces voussoirs, quand elle est plus grande. Dans le cas actuel, nous la rachetons en partie par une plus grande longueur des voussoirs, auxquels nous donnons 0,69 au lieu de 0,50, épaisseur de la voûte, et en partie au moyen de la plinthe à laquelle nous donnons 0,50 de hauteur, tandis qu'elle ne s'élève au-dessus de l'accottement que de 0m.40, de même que les banquettes.

176. On trace ensuite les murs en aile, si l'on a adopté cette disposition. Pour cela on commence par indiquer, sur l'élévation, l'inclinaison du talus de la berge T T', la ligne T'T' représentant le niveau du terrain, fig. 14; l'arrête de la berge du ruisseau est indiquée par BB', fig. 16.

Cela posé, il faut que le parement du mur en aile passe par les points T' et S, ce dernier est au-dessus du socle, et qu'il ait une inclinaison égale à un dixième, c'est-à-dire que si, d'un point quelconque T', appartenant à ce parement, on abaisse sur le plan horizontal, qui passe par son pied, une perpendiculaire T'*a*, le point *a* sera éloigné du parement d'une quantité égale au dixième de T'*a*. Le point T' est reporté en B' sur le plan horizontal; décrivons donc autour de ce point un cercle avec un rayon égal au dixième de T'*a*, et menons une ligne *s'b*, tangente à ce cercle, elle représentera le pied du parement du mur en aile, ou la trace sur le plan horizontal. Si nous reportons le point *b* en *b'* par une verticale, la ligne *b'* T' représentera la trace du parement sur un plan parallèle à celui des voussoirs de tête, et en menant par le point *s* une ligne parallèle *ab'* T', nous aurons l'intersection des parements du mur en aile et de la tête du ponceau.

Les joints horizontaux du mur en aile sont représentés par des horizontales, mais on voit que ces joints se relèvent à l'extrémité du mur, afin d'éviter les angles aigus, dans les pierres formant la partie rampante qui se trouve dans le plan du talus de la route.

Les autres joints se projettent suivant les lignes parallèles aT'b'.

La coupe suivant l'axe du pontceau (fig. 15) se déduit de l'élévation, en menant des lignes horizontales. Elle fait voir que le socle et les deux assises au-dessus sont en pierres de taille.

La coupe, suivant l'axe de la route (fig. 17), ne fait que figurer l'intérieur de la maçonnerie, l'épaisseur des culées, etc.

Le plan (fig. 16) se déduit également de l'élévation d'une manière très-aisée.

La figure 18 représente le plan des fondations sur une échelle plus petite.

7. Devis des Travaux à faire pour la construction d'un pontceau de trois mètres d'ouverture, sur le ruisseau de... route impériale, n°... de... à...

CHAPITRE PREMIER.

DESCRIPTION GÉNÉRALE.

Le pontceau à construire sera établi d'équerre sur l'axe de la route : il aura 3 mètres d'ouverture; la forme de la voûte sera en anse de panier à trois centres, surbaissée au tiers, c'est-à-dire que le grand axe aura 3 mètres, et le petit, ou la montée, seulement 1 mètre. La longueur, d'une tête à l'autre, sera de 9.60 ; savoir : 8 mètres pour la largeur de la route, et 80 centimètres pour chaque plinthe couronnant les têtes.

Toute la construction reposera sur un massif de fondation en maçonnerie de moellons, de 50 centimètres d'épaisseur et de $1^m.45$ de largeur. Ce massif règnera sous les culées et sous les murs en aile; à l'extrémité de ces derniers, sa largeur sera réduite à 85 centimètres.

Le socle aura 40 centimètres de hauteur et $1^m.30$ d'épaisseur; il formera retraite sur le massif des fondations, de centimètres du côté de l'arche, et de 2 centimètres du côté des terres.

Les pieds-droits formeront retraite de 5 centimètres sur le socle, du côté de l'arche seulement, leur hauteur, depuis cette retraite jusqu'à la naissance du cintre, est de 65 centimètres, leur épaisseur de $1^m.20$.

L'épaisseur de la voûte aux naissances est la même que celle des pieds-droits; à la clef, elle est de 50 centimètres.

non compris celle de la chape, qui est de 5 centimètres. Les voussoirs de tête, à la clef, ont 69 centimètres de hauteur.

La hauteur des culées, au-dessus du socle, du côté des terres, est de 1m.55 ; elles sont terminées par des plans inclinés de 60 centimètres, se raccordant par une portion d'arc de cercle, et recouverts par la chape.

Le remblai en terre sur la chape, jusqu'au fond de l'encaissement, au milieu de la route, est de 15 centimètres.

Les plinthes qui couronnent les têtes ont 45 centimètres de largeur et 50 centimètres de hauteur; elles forment saillie de 5 centimètres sur le parement des têtes, et, du côté de la route, elles sont taillées en biseau, à 45° d'inclinaison, afin de se raccorder avec le talus intérieur des banquettes qui règnent aux abords du pontceau.

Les rampes, aux abords, ont 2 centimètres d'inclinaison par mètre, mais le dessus du pontceau est de niveau sur toute la longueur des plinthes.

Les murs en aile qui soutiennent les terres de la voûte ont 3m.50 de longueur, à partir du parement des têtes. Leur hauteur, dans le parement, est de 2m.84, et, à l'extrémité, de 80 centimètres. Ils reposent, comme les pieds-droits, sur un socle de 40 centimètres de hauteur.

L'épaisseur du socle, dans le parement des têtes, est de 1m.30, et, à l'extrémité, de 70 centimètres, ce qui fait une épaisseur moyenne de 1 mètre.

L'épaisseur des murs en aile, dans le parement des têtes, et au-dessus du socle, est de 1m.20, et de 60 centimètres à l'extrémité. Le parement extérieur est incliné d'un dixième vers les terres. L'intérieur est d'aplomb. Ce qui donne une épaisseur moyenne d'environ 72 centimètres.

Le socle et les deux assises des pieds-droits, les voussoirs de tête, les plinthes et le couronnement rampant des murs en aile, sont en pierres de taille.

Les parements vus sont en moellons essemillés, et le reste de la maçonnerie en moellons ordinaires.

Le cintrement se compose de six fermes en charpente espacées, d'axe en axe, de 0.90. Chaque ferme se compose de deux potelets, d'un entrait, de deux arbalétriers, d'un poinçon et de deux vaux.

Les fermes sont reliées entre elles par un faîtage commun et deux liernes. L'équarrissage de tous les bois est de 16 centimètres. Les couchis ont 10 centimètres de côté.

La chaussée, au-dessus du pontceau, a 4 mètres de largeur, elle est composée d'une couche de cailloux de 25 centimètres; les pentes transversales sont réglées à 4 centimètres par mètre.

CHAPITRE II.

DÉTAILS DE CONSTRUCTION ET MODE D'EXÉCUTION DES OUVRAGES.

178. Avant de commencer les travaux, le tracé en sera fait par les soins de l'ingénieur chargé de leur direction. On déblaiera, suivant les piquets qui auront été plantés, l'emplacement des fondations, dont le fond sera arrasé parfaitement de niveau, à la hauteur qui sera fixée au moyen d'un repère; on établira ensuite le massif des fondations en maçonnerie de moellons, au mortier de chaux et ciment.

Les pierres de taille qui forment le parement des socles et des pieds-droits, auront 40 centimètres de hauteur d'assise pour le socle, et 32 pour les pieds-droits. Elles formeront alternativement carreaux et boutisses, ayant 40 et 60 centimètres de longueur de queue.

Les joints verticaux seront pleins et piqués sur un retour d'équerre de 30 centimètres, les lits horizontaux seront sans démaigrissement en queue.

Les pierres seront toujours posées sur leur lit de carrière. Les parements seront taillés avec ciselure relevée aux arêtes, piqués proprement à la pointe dans leurs faces ou dressés à la boucharde.

La couche de mortier, pour la pose, aura au moins 20 millimètres d'épaisseur pour être réduite à 3 ou 4 millimètres, quand la pierre aura été affermie sur la base, à coups de masse de bois, les joints verticaux auront au moins 4 millimètres de largeur.

Les revêtements en pierres de taille seront rejointoyés avec le même mortier qui aura servi pour la pose. Pour les exécuter le plus solidement possible, on attirera avec un crochet de fer toutes les bavures de première construction, on balaiera et lavera les joints; on fichera ensuite de nouveau mortier avec des lames de fer faites exprès; on le serrera bien avec la pointe d'une petite truelle et on aura soin que les joints ne bavent pas sur la pierre. Ils seront ensuite frottés et lissés avec le ciroir, jusqu'à ce qu'ils soient tout-à-fait secs et noirs.

Les têtes de la voûte sont divisées en treize voussoirs formant, à l'intrados, alternativement carreaux et boutisses de 40 et 60 centimètres de longueur. Les joints sont normaux à la courbe de la douelle; les deux premiers vous-

soirs, de chaque côté, sont taillés de manière à former crossette, c'est-à-dire qu'à une petite distance de la courbe, le joint normal devient horizontal pour se raccorder avec les assises. La longueur des voussoirs varie suivant le rang qu'ils occupent; leur longueur réduite est de 65 centimètres. Ils seront posés et rejointoyés avec les précautions indiquées pour la maçonnerie de pierre de taille.

Les joints horizontaux du couronnement rampant du mur en aile sont relevés à leur extrémité, sur 10 centimètres de hauteur, perpendiculairement à la face qui se trouve dans le talus des terres, la longueur moyenne des pierres employées est de 60 centimètres, leur épaisseur de 50.

Les plinthes seront construites en pierres de taille. Chaque pierre devant en former toute la largeur et l'épaisseur.

Tout le reste de la maçonnerie est en moellons essemillés, pour les parements vus, et en moellons ordinaires, pour les parties intérieures. On choisira pour cet usage, la pierre du plus bel échantillon; cette maçonnerie sera faite à bain de mortier par arases horizontales. On frappera les blocs au têtu pour les affermir, prévenir les tassements et faire refluer le mortier excédant; les parties de moellons qui se détacheraient par le tassement seront relevées et replacées de manière qu'un morceau de pierre ne puisse en toucher un autre sans l'intermédiaire du mortier. On garnira d'ailleurs tous les vides avec des éclats de pierre noyés dans le mortier et poussés au marteau. Si l'on travaille pendant un temps très-sec, il pourra être prescrit d'arroser le dessus de la maçonnerie, avant de placer une nouvelle assise.

Les parements seront faits avec les meilleurs matériaux, sous le rapport des liaisons et du gissement; la moindre queue des pierres de parement sera de 40 centimètres.

Les joints seront retournés d'équerre sur au moins 10 centimètres, les joints ne devront jamais avoir plus de 20 millimètres. Les moellons seront toujours placés en boutisses et non en carreaux.

Cette maçonnerie sera faite en ciment calcaire, sur une épaisseur de 0,50, à partir des parements vus; le reste sera fait en mortier de chaux et sable.

Après l'exécution de la maçonnerie, on fera les rejointoyements, en vidant les joints sur la profondeur de 5 centimètres. Après les avoir curés et lavés, on les remplira en mortier, que l'on enfoncera avec des petites fiches et que l'on refoulera et lissera à la truelle, jusqu'à ce que les joints soient secs et brillants.

La chape sera faite en mortier de chaux et ciment; elle

sera placée, après le décintrement, par un temps un peu humide, si c'est possible ; dans le cas contraire, on arrosera la maçonnerie, avant de la poser, puis on la frottera à la truelle, jusqu'à ce qu'elle soit dure et sans gerçures.

Les remblais, derrière les culées, seront faits au fur et à mesure de l'élévation de la maçonnerie ; on les pilonnera fortement, et on aura soin que les remblais soient toujours à la même hauteur derrière chaque culée. Ceux au-dessus de la chape seront en terre purgée de cailloux, et on évitera autant que possible d'endommager le mortier qui la compose.

Les bois pour cintres auront les équarrissages fixés et devront offrir toute la solidité désirable ; ils seront repris, après le décintrement, par l'entrepreneur pour la moitié du prix porté au détail estimatif, réduit par le rabais provenant de l'adjudication.

179. *Mortier.* — La chaux sera amenée sur l'atelier au fur et à mesure de l'emploi, et proviendra directement du four, si c'est possible ; dans le cas contraire, des magasins où on la conservera de manière à éviter l'extinction spontanée.

L'extinction de la chaux sera faite par aspersion, au moyen d'arrosoirs, sur des tas d'un dixième de mètre cube placés sur une aire solide. Lorsqu'elle aura absorbé toute son eau et qu'il ne se dégagera plus de vapeurs, on l'ouvrira pour la remuer et la manipuler, en y ajoutant un peu d'eau, jusqu'à ce qu'elle soit réduite en pâte ayant la consistance de l'argile prête à être mise en œuvre pour la poterie. L'extinction sera toujours faite vingt-quatre heures avant la fabrication du mortier.

Le mortier sera fait au moyen de pilons en fonte, du poids de 5 kilogrammes. On emploiera une partie de chaux éteinte et deux parties de sable sec ou ciment.

On commencera par pilonner la chaux jusqu'à ce qu'elle ait repris le degré de mollesse qu'elle avait après l'extinction ; on y ajoutera peu à peu le sable, en pilonnant jusqu'à ce que le mélange soit parfait. On ne devra point ajouter d'eau pendant cette opération. On ne devra faire chaque jour que le mortier qu'on pourra employer dans la journée.

(Quand on emploie de la chaux hydraulique, on doit prescrire la méthode suivante d'extinction.)

180. La chaux hydraulique pure, vive et en morceaux, se jette à la pelle dans un bassin imperméable ; on l'y étend par couches d'égale épaisseur, d'environ 20 à 25 centimètres. On arrose chaque couche d'une quantité d'eau

suffisante et indiquée, pour chaque espèce de chaux, par une expérience préalable. On doit avoir soin que l'eau puisse circuler et pénétrer avec facilité dans les vides que les fragments de chaux vive laissent entre eux; l'effervescence ne tarde pas à se manifester; on continue à jeter alternativement de la chaux et de l'eau; mais il faut bien se garder de brasser la matière et de la réduire en laitance, suivant la mauvaise coutume des maçons; seulement quand, par hasard, quelques pellées de chaux fusent à sec, on y dirige l'eau par des rigoles que l'on trace légèrement dans la pâte et, de temps en temps, on enfonce un bâton pointu dans les endroits où l'on soupçonne que l'eau à pu manquer; si le bâton en sort enduit d'une chaux gluante, l'extinction est bonne; s'il s'en élève au contraire une fumée farineuse, c'est une preuve que la chaux a fusé à sec; on élargit alors le trou, on en fait d'autres à côté et l'on y amène l'eau.

On ne doit ainsi éteindre que la quantité de chaux dont on a besoin pour une journée. Deux bassins séparés, ou deux capacités dans le même bassin, sont indispensables; on commence à remplir l'un quand l'autre est près d'être vidé, de manière que la chaux ait toujours vingt-quatre heures pour travailler, et que tous les fragments paresseux puissent se diviser.

La chaux éteinte, comme il vient d'être dit, est déjà très-ferme le lendemain, il faut la piocher, ou tout au moins la couper avec une pelle tranchante, pour l'extraire du bassin. On la jette sur une aire pavée, et là on doit la rendre souple à l'aide du pilon; le rabot ne pourrait jamais la lier; mais si on la bat d'aplomb avec des massettes de fonte assujetties à des manches de bois, elle ne tarde pas à s'amollir et à revenir à l'état de pâte assez molle pour recevoir le sable, sans addition d'eau.

Le mortier doit être fait également à l'aide de pilons ou de manéges, et à couvert quand la saison est pluvieuse. Quand on emploie du sable mouillé, on ne prend alors qu'un sixième de chaux en pâte; et on ajoute en compensation un sixième de chaux en poudre éteinte par immersion, afin d'absorber l'eau que contient le sable. Quand, au contraire, le sable est très-sec et que le temps est chaud, il devient quelquefois indispensable d'ajouter un peu d'eau, mais avec la plus grande réserve, car il en faut très-peu pour noyer le mélange.

Le mortier hydraulique doit être ferme; aussi ne peut-on l'employer avec des matériaux secs et absorbants; lorsqu'on en a de cette nature, il faut les mouiller sans cesse et les te-

sir dans un état permanent d'imbibition. On peut arroser en masse le tas même dont on les tire.

La proportion d'eau nécessaire à l'extinction ne peut être précisée exactement. Ce volume varie suivant que la chaux est plus ou moins vive, plus ou moins réduite en poudre, par l'effet de l'extinction spontanée. Il est des cas où ce volume est d'environ 2/5 de celui de la chaux; mais cette proportion augmente lorsque la chaux est employée sortant du four, et elle ne saurait être déterminée que par l'usage. Quelques tâtonnements et le mesurage, à l'aide de seaux, de la quantité d'eau absorbée, auront bientôt fait connaître ce qu'il convient d'en employer par mètre cube, pour obtenir une pâte de bonne consistance, propre a être conservée jusqu'au lendemain. Le problème consiste à n'en mettre ni trop ni trop peu, en la versant de prime abord sur la chaux et sans remuer le mélange.

CHAPITRE III.

NATURE ET QUALITÉ DES MATÉRIAUX.

181. Le moellon essemillé et le moellon ordinaire seront pris aux carrières de...., à une distance de 1,500 mètres; ils seront choisis parmi ceux provenant des bancs les plus durs. Ceux qui contiendront du bousin, ou parties tendres, seront rejetés.

On prendra les plus gros pour les fondations et les parements vus, ceux employés à ce dernier usage seront proprement essemillés.

La pierre de taille proviendra des carrières de..... à une distance de 24,000 mètres, ou autres lieux qui pourront en fournir de pareille qualité, c'est-à-dire qui soit pleine, dure, non sujette à la gelée. On n'emploiera que celle qui sera bien ébousinée, sans fil ni moie qui la traverse ou qui paraisse à 15 centimètres près des parements. Elle sera d'une couleur égale, sans veine et d'un grain fin et uni.

La chaux proviendra du four de.... à une distance de 1,500 mètres. Elle sera faite avec les pierres les plus dures et les plus pesantes. Elle devra être bien vive au moment de l'extinction ; toute celle qui serait éventée sera rejetée. Après l'extinction et pendant la fabrication du mortier, on rejettera toutes les pierres mal cuites et celles qui le sont trop et qui n'ont pu se résoudre en pâte.

Le sable sera pris dans les carrières de..... à une distance de 6,000 mètres; il proviendra des veines les plus pures.

Celui qui serait mélangé de terre sera rejeté ; il en sera de même de celui qui sera trop fin.

Le ciment sera pris à....., à la distance de 1,000 mètres, il sera fait avec des tuileaux bien pilés, ensuite passés au tamis de manière à obtenir une poudre très-fine.

Le bois proviendra des chantiers de.... à 2,000 mètres de distance ; il sera d'essence de chêne, de bonne qualité.

CHAPITRE IV.

CONDITIONS.

182. Tous les matériaux seront soumis à la réception par le directeur des travaux, avant leur emploi.

Indépendamment des réceptions partielles des matériaux, les travaux seront soumis à deux réceptions générales, savoir : une réception à laquelle il sera procédé, s'il y a lieu, immédiatement après le complet achèvement ; et une réception définitive qui ne pourra se faire qu'un an après la réception provisoire.

Pendant le délai d'un an au moins, qui s'écoulera entre la réception provisoire et la réception définitive, l'entrepreneur sera responsable de ses ouvrages et sera tenu de les entretenir en bon état.

A cet effet, il refera tous les rejointoiements qui seront dégradés, remplacera les pierres qui auraient subi quelque altération, qu'elles que soient les causes de dégradations.

L'adjudicataire devra livrer, à l'expiration du délai de garantie, l'ensemble des travaux exécutés par lui, de manière à ce qu'ils satisfassent rigoureusement aux conditions imposées; dans le cas contraire, il y serait pourvu au moyen d'une régie établie à ses frais sur un simple arrêté du préfet.

Les travaux devront être exécutés dans la campagne de...., toute la maçonnerie devra être terminée pour le 15 septembre au plus tard.

Pendant toute la durée des travaux, l'entrepreneur sera tenu de disposer ses matériaux et ateliers de manière à conserver un passage libre aux voitures et chevaux. Il se conformera, à cet égard, aux dispositions qui lui seront prescrites par le directeur des travaux, même lorsqu'il devrait en résulter quelque surcroît de dépense.

Il préservera la circulation de tous accidents, soit en posant des barrières, soit en plaçant des lanternes et des gardes de nuit si cette précaution était jugée nécessaire.

Pendant l'exécution des travaux, il pourra être délivré des à-comptes à l'entrepreneur, jusqu'à concurrence de 9/10 des travaux exécutés. Les matériaux en approvisionnement aux carrières ne pourront donner lieu à des à-comptes; ceux amenés sur le chantier seront calculés pour les quatre cinquièmes de leur valeur.

Pendant la durée de l'adjudication, l'entrepreneur ne pourra s'éloigner des travaux que pour affaires relatives à son marché, et après en avoir obtenu l'autorisation. Dans ce cas, il choisira, et fera agréer un représentant capable de le remplacer et auquel il aura donné pouvoir d'agir pour lui et de faire les paiements aux ouvriers, de manière qu'aucune opération ne puisse être retardée ni suspendue pour raison de l'absence de l'entrepreneur.

L'entrepreneur sera soumis aux clauses et conditions générales imposées aux adjudicataires des travaux de l'administration des ponts-et-chaussées.

183. *Détail estimatif des Travaux à faire pour la construction d'un ponceau de trois mètres d'ouverture sur le ruisseau de . . . . route impériale n° . . . . de . . . . . à . . . . .*

CHAPITRE I.

MÉTRAGE DES TRAVAUX.

Déblais pour fondations.

Sous les Culées.	Jusqu'au dessous du socle.	Longueur pour deux.	19.20	35.62	17.76	
		Largeur.	2.85			
		Hauteur.		0.50		
	Jusqu'au niveau de la berge	Longueur pour deux.	19.20	24.00	25.20	
		Largeur moyenne à cause du talus des berges.	1.25			
		Hauteur.		1.05		
Sous les Murs en aile.	Jusqu'au dessous du socle.	Longueur pour quatre. . . .	14.00	21.70	10.85	
		Largeur moyenne.	1.55			
		Epaisseur.		0.50		
	Jusqu'au niveau de la berge.	Longueur pour.	14.00	18.90	19.84	
		Largeur moyenne.	1.35			
		Hauteur.		1.05		
		Cube total de déblais.			73.65	73.65

Massif des fondations.

Sous les culées	Longueur pour deux	19.20	27.84	13.92	
	Largeur	1.45			
	Epaisseur		0.50		
Sous les murs en aile	Longueur pour quatre	14.00	16 10	8.05	
	Largeur moyenne	1.15			
	Epaisseur		0.50		
	Cube total de la maçonnerie de fondation			21.97	21.97

Socles.

Sous les culées	Longueur pour deux	19.20	24.96	9.98	
	Largeur	1.30			
	Epaisseur		0.40		
Sous les murs en aile	Longueur pour quatre	14.00	14.00	5.60	
	Largeur moyenne	1.00			
	Epaisseur		0.40		
	Cube de la maçonnerie pour les socles			15.58	15.58

Voûtes.

Partie comprise entre les têtes ayant chacune 0.80 d'épaisseur	Longueur	8.00	43.20	80.78	
	Largeur	5.40			
	Hauteur moyenne		1.87		
	A reporter			80.78	

183. *Détail estimatif des Travaux à faire pour la construction d'un ponceau de trois mètres d'ouverture sur le ruisseau de . . . . route impériale n° . . . . de . . . . . à . . . . .*

CHAPITRE I.

MÉTRAGE DES TRAVAUX.

Déblais pour fondations.

Sous les Culées.	Jusqu'au dessous du socle.	Longueur pour deux.	19.20	35.62	17.76
		Largeur.	2.85		
		Hauteur.		0.50	
	Jusqu'au niveau de la berge	Longueur pour deux.	19.20	24.00	25.20
		Largeur moyenne à cause du talus des berges.	1.25		
		Hauteur.		1.05	
Sous les Murs en aile.	Jusqu'au dessous du socle.	Longueur pour quatre. . . .	14.00	21.70	10.85
		Largeur moyenne.	1.55		
		Epaisseur.		0.50	
	Jusqu'au niveau de la berge.	Longueur pour.	14.00	18.90	19.84
		Largeur moyenne.	1.35		
		Hauteur.		1.05	
		Cube total de déblais.			73.65 73.65

Massif des fondations.

Sous les culées	Longueur pour deux	19.20	27.84	13.92	
	Largeur	1.45			
	Epaisseur		0.50		
Sous les murs en aile.	Longueur pour quatre	14.00	16 10	8.05	
	Largeur moyenne	1.15			
	Epaisseur		0.50		
	Cube total de la maçonnerie de fondation			21.97	21.97

Socles.

Sous les culées	Longueur pour deux	19.20	24.96	9.98	
	Largeur	1.30			
	Epaisseur		0.40		
Sous les murs en aile.	Longueur pour quatre	14.00	14.00	5.60	
	Largeur moyenne	1.00			
	Epaisseur		0.40		
	Cube de la maçonnerie pour les socles			15.58	15.58

Voûtes.

Partie comprise entre les têtes ayant chacune 0.80 d'épaisseur	Longueur	8.00	43.20	80.78	
	Largeur	5.40			
	Hauteur moyenne		1.87		
	A reporter			80.78	

		Report.		80.78
Murs de tête.	Longueur ensemble.	1.50	5.54	24.82
	Hauteur.	2.84		
	Largeur.		5.40	
Murs en aile.	Longueur pour quatre.	14.00	20.16	14.51
	Hauteur moyenne.	1.44		
	Epaisseur.		0.72	
				120.11
A déduire le vide de la voûte.				
Rectangle des pieds-droits.	Largeur.	3.00	1.95	
	Hauteur.	0.65		
Secteur des petits arcs.	Arc de cercle développé pour deux.	1.72	0.69	
	1/2 rayon des petits arcs.	0.41		
Secteur des grands arcs.	Arc de cercle développé.	2.28	2.49	
	1/2 rayon.	1.09		
			5.07	
A déduire le triangle compris entre le grand axe et le cintre.	Base.	1.37	1.49	
	1/2 hauteur.	1.07		
	Reste pour surface de vide		3.58	34.37
	Longueur d'une tête à l'autre.		9.60	
Reste pour cube total de la maçonnerie de la voûte et des murs en aile, au-dessus du socle.				85.74

Cube total de la maçonnerie au-dessus des fondations. . 101.32

MAÇONNERIE AU MORTIER DE CHAUX ET CIMENT.

Voûte.

Longueur développée du socle, des pieds-droits et de la voûte.	6.10	52.46	26.23
Longueur entre les têtes.	8.60		
Epaisseur moyenne.		0.50	

Murs de tête.

Largeur ensemble.	10.80	34.99	
Hauteur, y compris le socle.	8.60		
A déduire le vide de la voûte, et celui entre les pieds-droits et le socle, comme dessus, en y ajoutant le vide entre les socles.		4.74	
Reste pour la surface.		30.25	30.25
Epaisseur ensemble.		1.00	

Murs en ailes.

Surface comme dessus.	20.16	10.08	
Epaisseur.	0.50		
Cube total de la maçonnerie en mortier de ciment, comprenant toute la maçonnerie en pierre de taille et en moellons essemillés.		66.56	66.56
Reste pour maçonnerie en mortier de chaux et ciment.			66.56

MAÇONNERIE EN PIERRE DE TAILLE.

Socle et pieds-droits sous les culées.				
Longueur ensemble.	19.20	20.16		
Hauteur..	1.50		10.08	
Epaisseur moyenne.		0.50		
Voussoirs de tête.				
Longueur développée de la courbe..	4.00	2.00		
Hauteur moyenne..	0.50		2.00	
Epaisseur moyenne pour les deux têtes.		1.00		
Plinthes.				
Longueur ensemble.	9.50	4.25		
Epaisseur.	0.50		3.40	
Largeur..		0.80		
Murs en aile. — Socle et pieds-droits.				
Longueur moyenne pour les quatre..	8.00	8.40		
Hauteur..	1.05		4.20	
Epaisseur.		0.50		
Couronnement rampant.				
Longueur pour quatre.	16.00	8.00		
Largeur..	0.50		4.00	
Epaisseur.		0.50		
Cube total de la maçonnerie en pierre de taille.			23.68	23.68

Reste pour cube total de la maçonnerie en moellon essemillé. . . .				42.88
Chape.				
Longueur.	8.00	44.00		
Largeur.	5.50		2.20	
Épaisseur.		0.05		
Cube de mortier pour la chape.			2.20	2.20
Parements vus de la pierre de taille. — Socle et pieds-droits sous les culées.				
Longueur ensemble.	19.20	21.12		
Hauteur, y compris la retraite du socle.	1.10			
Voussoirs de tête.				
Longueur développée de la courbe pour deux têtes. . . .	8.00	8.00		
Largeur de parements en douelle et en tête.	1.00			
Plinthe.				
Longueur ensemble.	9.50	14.72		
Pourtour développé.	1.55			
Murs en aile. — Socle et pieds-droits.				
Longueur moyenne pour les quatre.	8.00	8.80		
Hauteur.	1.10			

Couronnement.

Longueur pour quatre.	16.00	16.00		
Pourtour développé.	1.00			
Surface totale de taille.		68.64	68.64	

Cintre. — Longueur totale des bois composant une ferme.

2 potelets.	1.78			
1 entrait.	2.90			
2 arbalétriers.	2.20			
1 poinçon.	0.60			
2 vaux.	2.10			
Total.	9.48			
Pour six semblables.	57.48			
Un faîtage et deux liernes de 9.60 chacun.	28.80			
Total.	86.28	13.80	2.21	
Epaisseur.	0.16			
Largeur.		0.16		
Vingt couchis de 9.60.	172.00	21.12	2.32	
Largeur.	0.11			
Epaisseur.		0.11		
Cube total du bois pour cintre.			4.53	4.53

CHAPITRE II.

SOUS-DÉTAILS ET DÉTAILS DE PRIX.

ART. 1er — SOUS-DÉTAILS.

N° 1. *Sous-Détail du prix d'un mètre cube de Moellons de. . . .*

Extraction et indemnité de carrière. . .	1.80	
Transport à 15,000. Une voiture attelée de trois chevaux, payé 12 fr. par jour, y compris le conducteur, fera dix voyages par jour, ce qui fera revenir le mètre cube à.	1.20	
Chargement, déchargement et emmétrage	0.40	
Prix du mètre cube de moellons. . .	3.40	3.40

N° 2. *Sous-Détail du prix d'un mètre cube de pierre de taille de. . . .*

Extraction dans la carrière et ébauchage.	17.00	
Transport à 24,000; une voiture, comme dessus, fera deux voyages en trois jours et transportera à chaque voyage, un mètre cube, ce qui fait revenir le mètre à	18.00	
Chargement et déchargement.	2.00	
Faux frais.	2.00	
Prix du mètre cube. . . .	39.00	39.00

N° 3. *Chaux grasse vive, le mètre cube.*

Un mètre cube de moellons calcaires. . .	1.80	
Déchet, 1/10	0.18	
Main-d'œuvre à la cuisson.	3.00	
Deux hectolitres et demi de charbon de terre à 4.50 l'hectolitre..	11.50	
Transport du four au chantier, comme au n° 1.	1.20	
Faux frais et établissement de four. . . .	0.88	
Prix du mètre cube. . . .	18.31	18.31

No 4. *Chaux grasse éteinte, le mètre cube.*

1m.08 de chaux vive, y compris déchet, à 18.31 le mètre, ci..	19.78	
Extinction, un demi-jour de manœuvre à 1.60.	0.80	
Frais de bassin, etc.	0.50	
Total. . . .	21.08	
Le foisonnement est dans le rapport de 2 à 3, ce qui fera revenir le mètre cube de pâte aux 2/3 du prix ci-dessus, ci. .	14.05	14.05

No 5. *Un mètre cube de sable.*

Extraction et indemnité de carrière, ci. .	1.25	
Chargement en voiture et déchargement.	0.15	
Transport à 6,000 mètres, une voiture, comme au no 1, fera trois voyages par jour, vu la facilité des chemins, et transportera 1.30, ce qui fait revenir le mètre cube à.	3.10	
Prix du mètre cube. . .	4.50	4.50

No 6. *Un mètre cube de ciment.*

Un mètre cube de tessons de tuileaux coûte	8.00	
Broyage, quatre journées de manœuvre à 1.50, y compris le passage au tamis, transport au chantier.	6.00	
Transport, une voiture, comme au no 1, fera quinze voyages par jour, et transportera 1.30, ce qui fait par mètre cube.	0.61	
Prix du mètre cube. . . .	14.61	14.61

No 7. *Sous-Détail du prix d'un mètre cube de mortier de chaux et ciment.*

0m.50 de chaux grasse en pâte à 14.05, sous-détail, no 4, ci.	7.02
1 mètre de ciment, S. D., no 6	14.61
A reporter. . . .	21.63

Report. . . .	21.63	
Façon du mortier; une journée de travail de manœuvre à 1.50.	1.50	
Approche des matières; deux heures de travail de manœuvre, à 0.15 l'une. . .	0.30	
Outils et faux frais.	0.09	
Prix d'un mètre cube de mortier de ciment.	23.52	23.52

N° 8. *Sous-Détail du prix d'un mètre cube de mortier de chaux et sable.*

0m.50 de chaux, comme dessus.. . . .	7.02	
1 mètre de sable, sous-détail, n° 5. . .	4.50	
Façon du mortier, approche des matières et faux frais, comme dessus.	1.89	
Prix du mètre cube. . . .	13.41	13.41

N° 9. *Un mètre cube de bois de chêne.*

Le mètre cube de bois de chêne, rendu sur place, sera payé.	90.00	90.00

ART. 2. — DÉTAILS DE PRIX.

N° 1. *Détail ou prix d'un mètre cube de maçonnerie de moellons, au mortier de chaux et ciment, pour fondations.*

1m.10 de moellons, y compris déchet, à 3.40 le mètre cube, sous-détail, n° 1, ci. .	3.74	
.33 cubes de mortier, à 23.52, S. D. n° 7.	7.76	
Bardage et façon, 1/3 de journée de maçon, à 2.50 et de journée de goujat, à 1.50, ci.	1.33	
Faux frais et outils.	0.10	
	12.93	
Un dixième de bénéfice à l'entrepreneur.	1.29	
Prix du mètre cube de maçonnerie. .	14.22	14.22

N° 2. *Détail du prix d'un mètre de maçonnerie de moellons essemillés au mortier de chaux et ciment.*

1.10 de moellons, y compris déchet, à 3.40 le mètre cube, S. D., n° 1.	3.74	
0.25 de mortier de ciment, à 23.52, S. D. n° 7, ci.	5.88	
Essemillage sur le chantier.	3.00	
Bardage, pose, approche du mortier, comme au détail n° 1.	1.33	
Outils et frais.	0.10	
	14.05	
Dixième de bénéfice à l'entrepreneur. .	1.41	
	15.46	15.46

N° 3. *Détail d'un mètre cube de maçonnerie de moellons bruts pour remplissage derrière les parements, au mortier de chaux et sable.*

1.00 de moellons, à 3.40, S. D., n°.. . .	3.40	
0.33 de mortier, à 13.41, S. D., n° 8. . .	4.43	
Bardage, pose, faux frais, etc., comme au détail n°.	1.33	
	9.16	
Dixième de bénéfice à l'entrepreneur.	0.92	
	10.08	10.08

N° 4. *Détail du prix d'un mètre cube de maçonnerie de pierres de taille.*

1m.10 de pierre, y compris déchet, à 39.00, S. D., n° 2, ci.	42.90
0.12 de mortier de ciment, à 23.52, S. D., n° 7	2.82
Bardage, 12 heures de travail de bardeur, à 0.20 l'heure, ci	2.40
Pose et séchage, 1/2 jour de poseur, à 4.00, et 1/2 jour de contre-poseur, à 2.75, ci	3.38
A reporter. . .	51.50

Report. . . .	51.50	
Dérasement et ragréement, à 3 heures d'un tailleur de pierres, à 0.40 l'heure.	1.20	
Rejointoiement, outils et faux frais. . .	0.70	
	53.40	
Dixième de bénéfice à l'entrepreneur. .	5.34	
Prix du mètre cube. . . .	58.74	58 74

N° 5. *Détail du prix d'un mètre cube de chape en ciment.*

Emploi et passage à la truelle jusqu'à parfaite dessiccation, une journée de maçon, à 2.50, et deux journées de manœuvre, à 1.50, ci	5.50	
Outils et faux frais, 1/20	0.27	
	29.29	
Dixième de bénéfice à l'entrepreneur. .	2.93	
Prix du mètre cube. . . .	32.22	32.22

N° 6. *Détail du prix d'un mètre carré de taille de parements vus.*

Une journée 1/2 de tailleur de pierres, à 4.00, ci	6.00	
Outils et faux frais, 1/20, ci	0.30	
	6.30	
Dixième de bénéfice à l'entrepreneur. .	0.63	
Prix du mètre carré. . . .	6.93	6.93

N° 7. *Prix d'un mètre cube de bois de chêne pour cintre.*

Un mètre cube de bois, à 90, S. D., n° 9; l'entrepreneur devant le reprendre pour moitié, il ne sera compté que. . . .	45.00	
Déchet, 1/10	9.00	
Main-d'œuvre, outils et faux frais . . .	6.00	
	60.00	
Dixième de bénéfice à l'entrepreneur. .	6.00	
Prix du mètre cube. . . .	66.00	66.00

N° 8. *Détail du prix d'un mètre cube de terre, fouille pour fondations.*

Fouille et jet à la pelle, 3 h. 30 de terrassier, payé 1.75 le jour, ou 0.175 l'heure, ci	0.58	
Transport à 1/2 relai	0.05	
Outils et faux frais, ci	0.04	
	0.67	
Dixième de bénéfice à l'entrepreneur. .	0.07	
Prix du mètre cube. . . .	0.74	0.74

CHAPITRE III.

ESTIMATION OU APPLICATION DES PRIX.

75.65 de déblais, à 0.74 (D., n° 8).	54.50
21.97 de maçonnerie de fondations, à 14.22 (D., n° 1)	312.41
34.76 de maçonnerie de mortier de chaux et sable, à 10.08 (D., n° 3), ci . . .	350.38
23.68 de maçonnerie en pierres de taille, à 58.74 (D., n° 4), ci	1390.96
42.88 de maçonnerie de moellons essemillés, à 15.46 (D., n° 2), ci	662.93
2.20 de maçonnerie pour chape, à 32.22 (D., n° 5), ci.	70.88
68.84 mètres carrés de taille, à 6.93 (D., n° 6), ci	477.06
4.53 mètres cubes de bois pour cintres, à 66 (D., n° 7), ci	298.98
	3618.10
Somme à valoir pour frais imprévus, etc., ci. .	381.90
Total. . . .	4000.00

Le présent détail estimatif, montant à la somme de quatre mille francs, y compris une somme à valoir de trois cent quatre-vingt-un francs quatre-vingt-dix centimes, dressé par l'ingénieur soussigné.

A. . . . . . le. . . .

CHAPITRE X.

Modèles d'aqueducs et ponceaux avec murs en retour.

184. Nous venons de donner un modèle de construction de ponceau avec mur en aile; le plus souvent, sur des routes, on emploie des murs en retour, dont la construction est plus simple et moins dispendieuse. La planche 1 représente le modèle des aqueducs et ponceaux adoptés pour les routes stratégiques.

Comme ils peuvent être employés dans un grand nombre de cas, nous allons en dire les principales dimensions et indiquer, d'après M. Fourier, ingénieur des ponts-et-chaussées, comment on a calculé, dans les différentes circonstances de localités, le cube des maçonneries.

AQUEDUCS.

Chaque aqueduc est établi d'équerre sur l'axe de la route. Il a 60 centimètres d'ouverture et 70 centimètres de hauteur, jusqu'au-dessous des dalles du recouvrement : sa largeur entre les têtes est de 8 mètres. Il ne présente qu'une seule ouverture couverte par des dalles portées sur des culées, avec murs en retour en tête, et radier général. Il est entièrement en maçonnerie, avec mortier de chaux et sable. Le radier règne sous les culées et murs en retour; il fait empatement de 10 centimètres en dehors, et repose sur le sol creusé en plan de niveau dans toute sa longueur : son épaisseur est de 40 centimètres. Les culées s'élèvent verticalement avec une retraite extérieure de 10 centimètres sur le radier général; elles ont 60 centimètres d'épaisseur. Leur hauteur est de 70 centimètres du côté des terres.

Les dalles de recouvrement, dont l'épaisseur est de 20 centimètres, ont 1m.20 de largeur, et s'avancent ainsi de 30 centimètres sur chaque culée. Les parements supérieurs des culées sont formés par des plans inclinés depuis les arêtes des dalles jusqu'aux arêtes supérieures des faces des culées du côté des terres.

Les murs en retour, qui accompagnent les culées, sont perpendiculaires à l'axe de l'aqueduc, leur longueur, comptée

OUVERTURE EN PLEIN CINTRE.			DIMENSIONS DES PARTIES CONSTITUANTES.					OBSERVATIONS.
			1.	1.50	2.00	2.50	3.00	
RADIER.	Longueur.	Entre les têtes.	6.60 + l	6.50 + l	6.40 + l	6.30 + l	6.20 + l	La longueur du radier est de 8.20 + l, il faut retrancher de cette quantité 2 fois l'épaisseur des murs en retour ou 1.29, plus les 4 retraites du radier, de chaque côté de ces murs, ou 0.40, ce qui fait 1.60 qui représente la longueur du radier sous les murs en retour
		Sous les murs en retour.	1.60	1.70	1.80	1.90	2.00	
	Largeur.	Entre les têtes.	2.60	3.30	4.10	4.90	5.80	Ce chiffre comprend les 2 retraites, l'épaisseur des 2 culées et l'ouverture, 0.20 + 1.40 + 100.
		Sous les murs en retour.	3.70 + 3h	6.10 + 3h	7.50 + 3h	8.90 + 3h	10.30 + 3h	
	Epaisseur. . .		0.40	0.50	0.50	0.60	0.60	La longueur de chaque mur en retour augmente de 3/2 h, pour une hauteur h des culées.

CULÉES.	Longueur entre les têtes.	6.80 + l	6.70 + l	6.60 + l	6.30 + l	6.20 + l	La longueur du pontceau est 8 + l, il faut retrancher deux fois l'épaisseur des murs de tête.
	Epaisseur jusqu'aux naissances.	0.70	0.80	0.95	1.10	1.30	
	Hauteur — Jusqu'aux naissances.	h	h	h	h	h	
	Hauteur — Du côté des terres.	0.60 + h	0.85 + h	1.10 + h	1.35 + h	1.60 + h	
VOUTE.	Longueur entre les têtes.	6.80 + l	6.70 + l	6.60 + l	6.50 + l	6.40 + l	
	Epaisseur — Aux naissances.	0.70	0.80	0.95	1.10	1.30	
	Epaisseur — A la clef.	0.30	0.25	0.60	0.45	0.50	

OUVERTURES EN PLEIN CINTRE.		DIMENSIONS DES PARTIES CONSTITUANTES.					OBSERVATIONS.
		1.	1.50	2.00	2.50	3.00	
MURS DE TÊTES.	Longueur. . . .	4.50 + 3 *h*	5.90 + 3 *h*	7.30 + 3 *h*	8.70 + 3 *h*	10.10 + 3 *h*	
	Hauteur sous plinthe. . .	0.85 + *h*	1.15 + *h*	1.45 + *h*	1.75 + *h*	2.05 + *h*	
	Epaisseur. . . .	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80	
PLINTHES.	Longueur. . . .	4.50 + 3 *h*	5.90 + 3 *h*	7.30 + 3 *h*	8.70 + 3 *h*	10.10 + 3 *h*	Même largeur que celle des murs de tête.
	Largeur. . . .	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	
	Epaisseur. . . .	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	
CHAPE.	Longueur. . . .	2.40	3.10	3.90	4.70	5.60	
	Epaisseur. . . .	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	

CINTREMENT. Longueur	d'un Potelet. . .	h	h	h	h	h	
	d'un Entrait. . .	0.90	1.40	1.90	2.40	2.90	
	d'un Poinçon. .	0.30	0.55	0.80	1.05	1.20	
	d'une jambe de force.	0.50	0.70	1.00	1.30	1.60	
	d'un Vaux. . . .	0 50	0.60	0.90	1.20	1.50	
	d'un Couchis. .	$8+l$	$8+l$	$8+l$	$8+l$	$8+l$	
CINTREMENT. Equarrissage	d'un Potelet. . .	0.14×0.14	0.14×0.15	0.15×0.15	0.15×0.16	0.16×0.16	
	d'un Entrait. . .	id.	id.	id.	id.	id.	
	d'un Poinçon. .	id.	id.	id.	id.	id.	
	d'une jambe de force.	id.	id.	id.	id.	id.	
	d'un Vaux. . . .	0.12×0.10	0.18×0.10	0.14×0.10	0.15×0.10	0.16×0.10	
	d'un Couchis. .	0.05×0.06	0.05×0.07	0.06×0.08	0.07×0.09	0.08×0.10	

Les remblais de la levée, aux abords des pontceaux, viennent s'appuyer, en s'arrondissant en quart de cône, le long des murs en retour. Ces quarts de cône et les talus à la suite, sur une certaine longueur, sont soutenus par des perrés en pierres sèches. La surface des perrés varie suivant les circonstances.

(Tout ce qui précède fait partie du devis; viennent ensuite le mode d'exécution des maçonneries et les conditions, comme nous l'avons déjà indiqué.)

DÉTAIL ESTIMATIF.

MAÇONNERIE.		MÉTRÉ DES AQUEDUCS.			OBSERVATIONS.
Radier.					Pour comprendre les calculs ci-contre, il faut savoir effectuer une multiplication algébrique qui, dans le cas actuel, consiste à multiplier le coéfficient de l par le multiplicateur.
Surface.	Longueur entre les têtes	$l+6.60$	$2l+$[illegible]3.20		
	Largeur.	2.00			
	Longueur pour les deux têtes	1.60	6.72		
	Largeur.	4.20			
	Surface totale. . . .		$2l+19.92$	Cube. $0.8l+7.97$	
	Epaisseur		0.40		
Culées entre les Têtes.					
Section faite suivant l'axe de la route.	rectangle. largeur. .	1.80	1.26	1.56	
	rectangle. hauteur. .	0.70			
	trapèze. largeur moyenne	1.50	0.30		
	trapèze. hauteur.	0.20			

A déduire pour le vide et pour les dalles. — surface du vide. — largeur. .	0.60	0.42	0.66	
hauteur. .	0.70			
surface des dalles. — largeur. .	1.20	0.24		
hauteur. .	0.20			
			0.90	
Longueur.			l+6 80	0.9l+6.12
Têtes au-dessous des Plinthes.				
Longueur.	4.20	3.78		
Hauteur.	0.90			
A déduire pour le vide, comme ci-dessus.		0.42		
Reste pour la surface		3.46		4.03
Epaisseur pour les deux. . . .		1.20		
Plinthes.				
Largeur		0.45	0.09	0.72
Hauteur.		0.20		
Longueur pour deux.			8.00	
Cube total de la maçonnerie . .				1.70l+18.84

MAÇONNERIE.	MÈTRE DES AQUEDUCS.			OBSERVATIONS.
DALLES DE RECOUVREMENT.				
Longueur.	$l+8.00$	$1.20 \times l+9.60$	$0.24.l+1.92$	
Largeur.	1.20			
Epaisseur.		0.20		
Cube total des Dalles de recouvrement			$0.24.l+1.92$	

Dans les calculs qui précèdent, la seule quantité que l'on puisse faire varier, est l ou la longueur de l'aqueduc. Toutes les autres parties, quelque soit le lieu où doit être construit cet aqueduc, restent les mêmes.

Supposons, par exemple, que l'on veuille construire un aqueduc de dix mètres de longueur, d'une tête à l'autre, alors nous ferons $l = 2$, et nous obtiendrons :

Pour le cube du radier..........	1.60 + 7.97 =	9.57
Pour les culées entre les têtes....	1.80 + 6.12 =	7.92
Pour les têtes au-dessous des plinthes............		4.03
Pour les plinthes................................		0.72
Et pour le cube total de la maçonnerie......		22.24

cube auquel on peut parvenir directement en faisant $l = 2$, dans l'expression : $1.70 \times l + 18.84 = 22.24$

Nous aurons de même, pour le cube des dalles de recouvrement 2.40

en faisant $l = 2$, dans l'expression : $0.24\,l + 1.92$

Métré des Ponceaux pour des Ouvertures en plein Cintre de . . . . . .

DÉSIGNATION DES NATURES D'OUVRAGES.		UN MÈTRE.	
MAÇONNERIE. — RADIER.			
Surface. Longueur entre les têtes	$l+6.60$	$2.60l+17.16$	
Surface. Largeur.	2.60		
Surface. Longueur pour les deux têtes	1.60	$4.80h+7.52$	
Surface. Largeur.	$3h+4.70$		
		$2.60l+4.80h+24.68$	$1.04l+1.92h+9.87$
Epaisseur.		0.40	

Culées et Voutes entre les Têtes.						
Section faite suivant l'axe de la route.	Rectangle.	Largeur.	2.40	$2.40h+144$	$2.40h+1.68$	
		Hauteur.	$0.60+h$			
	Triangle.	Largeur moyenne	1.20	0.24		
		Hauteur.	0.20			
A déduire pour le vide.	Rectangle.	Largeur.	1.00	h	$h+0.39$	
		Hauteur.	h			
	Demi-cercle.	1/2 circonférce.	1.57	0.39		
		1/2 rayon.	0.25			
Reste pour surface					$1.4h+129$	$1.40lh+1.29l+9.52h+8.77$
Longueur					$l+6.80$	
Têtes au-dessous des Plinthes.						
Longueur			$3h+4.50$	$3h^2+7.05h+3.82$		
Hauteur			$h+0.85$			
A déduire le vide comme ci-ci-dessus				$h+0.39$		
				A reporter		$1.40lh+2.33l+11.44h+18.64$

DÉSIGNATION DES NATURES D'OUVRAGES.	UN MÈTRE.		
		Report.	$1.40lh + 2.33l + 11.44h + 18.64$
Reste pour la surface.	$3h^2 + 6.05h + 3.43$		$3.60h^2 + 7.26h + 4.12$
Epaisseur pour deux	1.20		
PLINTHES.			
Largeur.	0.50	0.15	$0.90h + 1.35$
Hauteur.	0.30		
Longueur pour deux..		$6h + 9$	
Cube total de la Maçonnerie. .			$3.60h^2 + 1.40lh + 12.33l + 19.60h + 24.11$

Chape.		
Largeur.	2.20	$2.20l+14.96$
Longueur	$l+6.80$	
Surface de la chape.		$2.20l+14.96$
Cintrement en bois.		
Le cube total des bois pour Cintres est, d'après les dimensions fixées.		$0.29lh+0.27h+0.13l+1.07$

DÉSIGNATION DES NATURES D'OUVRAGES.	UN MÈTRE CINQUANTE CENTIMÈTRES.		
MAÇONNERIE. — RADIER.			
Surface. Longueur entre les têtes	$l+6.50$	$3.3l+21.45$	
Surface. Largeur.	3.30		
Surface. Longueur pour les deux têtes	1.70	$5.10h+10.37$	
Surface. Largeur.	$3h+6.10$		
		$3.30l+5.10h+31.82$	$1.65l+2.55h+15.91$
Epaisseur.		0.50	

Culées et Voutes entre les Têtes.						
Section faite suivant l'axe de la route.	Rectangle.	Largeur.	3.10	$3.10h+2.63$	$3.10h+3.02$	
		Hauteur.	$0.85+h$			
	Triangle.	Largeur moyenne.	1.35	0.39		
		Hauteur.	0.25			
A déduire pour le vide.	Rectangle.	Largeur.	1.50	$1.50h$	$1.50h+0.87$	
		Hauteur.	h			
	Demi-cercle.	1/2 circonférence.	2.35	0.87		
		1/2 rayon.	0.37			
Reste pour surface.					$1.60h+2.15$	$1.60lh+2.15l+10.72h+14.40$
Longueur.					$l+6.70$	
Têtes au-dessous des Plinthes.						
Longueur.			$3h+5.90$	$3h^2+9.35h+6.78$		
Hauteur.			$h+1.15$			
A déduire le vide comme ci-dessus.				$1.50h+0.87$		
A reporter.						$1.60lh+13.27h+3.80l+30.31$

DÉSIGNATION DES NATURES D'OUVRAGES.	UN MÈTRE CINQUANTE CENTIMÈTRES.			
			Report.	$1.60lh + 13.27h + 3.80l + 30.31$
Reste pour la surface		$3h^2 + 7.85h + 5.91$		$3.90h^2 + 10.20h + 7.68$
Epaisseur pour deux.		1.30		
PLINTHES.				
Largeur.	0.50	0.15		$0.90h + 1.77$
Hauteur.	0.30			
Longueur pour deux.		$6h + 11.80$		
Cube total de la Maçonnerie. .				$3.90h^2 + 1.60lh + 24.37h + 3.80l + 39.76$

Chape.		
Largeur.	3.10	$3.10l+20.77$
Longueur	$l+6.70$	
Surface de la chape.		$3.10l+20.77$
Cintrement en Bois.		
Le cube total des bois pour cintres est, d'après les dimensions fixées.		$0.31lh+0.28h+0.22l+1.88$

DÉSIGNATION DES NATURES D'OUVRAGES.	DEUX MÈTRES.		
MAÇONNERIE. — RADIER.			
Surface. Longueur entre les têtes	$l+6.40$	$4.10l+26.24$	
Surface. Largeur	4.10		
Surface. Longueur pour les deux têtes	1.80	$5.40h+13.50$	
Surface. Largeur	$3h+7.50$		
		$4.10l+5.40h+39.74$	$2.05l+2.70h+19.87$
Epaisseur		0.50	

Culées et Voutes entre les Têtes.						
Section faite suivant l'axe de la route.	Rectangle.	Largeur.	3.90	$3.9h + 4.29$	$3.9h + 4.87$	
		Hauteur.	$1.10 + h$			
	Triangle.	Largeur moyenne	1.95	0.58		
		Hauteur.	0.30			
A déduire pour le vide.	Rectangle.	Largeur.	2.00	$2.h$	$2h + 1.57$	
		Hauteur.	h			
	Demi-cercle.	½ circonférce	3.14	1.57		
		½ rayon.	0.50			
Reste pour surface.					$1.9h + 3.30$	$1.9lh + 3.30l + 12.54h + 21.78$
Longueur.					$l + 6.60$	
Têtes au-dessous des Plinthes.						
Longueur.			$3h + 7.30$	$3h^2 + 11.65h + 10.58$		
Hauteur.			$h + 1.45$			
A déduire le vide comme ci-dessus				$2h + 1.57$		
				A reporter.		$1.90lh + 5.35l + 15.24h + 41.65$

DÉSIGNATION DES NATURES D'OUVRAGES.	DEUX MÈTRES.		
		Report.	$1.90lh+5.35l+15.24h+41.65$
Reste pour la surface.	$3h^2+9.65h+9.01$		$4.20h^2+13.51h+12.61$
Epaisseur pour deux.	1.40		
PLINTHES.			
Largeur.	0.50	0.15	$0.90h+2.19$
Hauteur.	0.30		
Longueur pour deux.	$6h+14.16$		
Cube total de la Maçonnerie. .			$4.20h^2+1.90lh+5.35l+29.65h+56.45$

Chape.		
Largeur.	3.90	$3.90l+25.74$
Longueur.	$l+6,60$	
Surface de la chape.		$3.90l+25.74$
Cintrement en bois.		
Le cube total des bois pour cintres est, d'après les dimensions fixées.		$0.34lh+0.31h+0.34l+2.90$

DÉSIGNATION DES NATURES D'OUVRAGES.	DEUX MÈTRES CINQUANTE CENTIMÈTRES.			
MAÇONNERIE. — RADIER.				
Surface. Longueur entre les têtes	$l+6.30$	$4.90l+30.87$		
Surface. Largeur	4.90			
Surface. Longueur pour les deux têtes	1.90	$5.70h+16.91$		
Surface. Largeur	$3h+8.80$			
			$4.90l+5.70h+47.78$	$2.94l+3.42h+28.67$
Epaisseur			0.60	

CULÉES ET VOUTES ENTRE LES TÊTES.						
Section faite suivant l'axe de la route.	Rectangle.	Largeur.	4.70	$4.70h+6.34$	$4.70h+7.16$	
		Hauteur.	$1.35+h$			
	Triangle.	Largeur moyenne	2.35	0.82		
		Hauteur.	0.55			
A déduire pour le vide.	Rectangle.	Largeur.	2.30	$2.50h$	$2.50h+2.43$	
		Hauteur.	h			
	Demi-cercle.	½ circonférce.	3.90	2.43		
		½ rayon.	0.62			
Reste pour surface.					$2.20h+4.73$	$2.20lh+4.73l+14.30h+30.74$
Longueur.					$l+6.50$	
TÊTES AU-DESSOUS DES PLINTHES.						
Longueur.			$3h+8.70$	$3h^2+13.95h+15.22$		
Hauteur.			$h+1.75$			
A déduire le vide comme ci-dessus				$2.50h+2.43$		
					A reporter.	$2.20lh+7.67l+17.72h+59.41$

DÉSIGNATION DES NATURES D'OUVRAGES.	DEUX MÈTRES CINQUANTE CENTIMÈTRES.		
		Report.	$2.20\,lh+7.67\,l+17.72\,h+59.41$
Reste pour la surface.	$3\,h^2+11.45\,h+12.79$		$4.50\,h^2+17.17\,h+19.18$
Epaisseur.	1.50		
PLINTHES.			
Largeur.	0.50	0.15	$0.90\,h+2.61$
Hauteur.	0.30		
Longueur pour deux.	$6\,h+17.40$		
Cube total de la Maçonnerie. .			$4.50\,h^2+2.20\,lh+35.79\,h+7.67\,l+81.20$

Chape.		
Largeur.	4.70	$4.70l+30.55$
Longueur.	$l+6.50$	
Surface de la chape.		$4.70l+30.55$
Cintrement en bois.		
Le cube total des bois pour cintrés est, d'après les dimensions fixées.		$0.36lh+0.34h+0.48l+4.03$

DÉSIGNATION DES NATURES D'OUVRAGES.	TROIS MÈTRES.		
MAÇONNERIE. — RADIER.			
Surface: Longueur entre les têtes	$l+6.20$	$5.80l+35.96$	
Largeur	5.80		
Longueur pour les deux têtes	2.00	$6h+20.60$	
Largeur.	$3h+10.30$		
		$5.80l+6h+56.56$	$3.48l+3.60h+33.94$
Épaisseur.		0.60	

CULÉES ET VOUTES ENTRE LES TÊTES.						
Section faite suivant l'axe de la route.	Rectangle.	Largeur.	5.60	$5.6h+18.96$	$5.60h+10.08$	
		Hauteur.	$1.60+h$			
	Triangle.	Largeur moyenne	2.80	1.12		
		Hauteur	0.40			
A déduire pour le vide.	Rectangle.	Largeur.	3.00	$3.h$	$3h+3.53$	
		Hauteur.	h			
	Demi-cercle.	1/2 circonférce.	4.71	3.53		
		1/2 rayon.	0.75			
Reste pour surface.					$2.60h+6.55$	$2.60lh+6.55l+16.64h+41.92$
Longueur.					$l+6.40$	
TÊTES AU-DESSOUS DES PLINTHES.						
Longueur.			$3h+10.10$	$3h^2+16.25h+20.70$		
Hauteur.			$h+02.05$			
A déduire le vide comme ci-dessus				$3h+3.53$		
A reporter.						$2.60lh+10.03l+20.24h+75.86$

DÉSIGNATION DES NATURES D'OUVRAGES.	TROIS MÈTRES.		
		Report.	$2.60lh + 10.03l + 20.24h + 75.86$
Reste pour la surface.	$3h^2 + 13.25h + 17.17$		$4.80h^2 + 21.20h + 27.47$
Epaisseur pour deux	1.60		
PLINTHES.			
Largeur.	0.50	0.15	
Hauteur.	0 30		$0.90h + 3.03$
Longueur pour deux	$6h + 20.20$		
Cube total de la Maçonnerie. .			$4.80h^2 + 2.60lh + 42.34h + 10.03l + 106.36$

CHAPE.		
Largeur	5.60	$5.60\,l + 65.84$
Longueur	$l + 3.40$	
Surface de la chape.		$5.60\,l + 35.84$
Cintrement en bois.		
Le cube total des bois pour cintres est, d'après les dimensions fixées.		$0.38\,lh + 0.36\,h + 0.63\,l + 5.28$

Ainsi que nous l'avons déjà dit, h représente la hauteur des pieds-droits, et l la longueur du prolongement des têtes, au-delà de 8 mètres.

Ainsi, pour un ponteeau de 1 mètre d'ouverture, ayant des pieds-droits de 50 centimètres et une longueur, d'une tête à l'autre, de 10 mètres, on fera $h=0.50$ et $l=2$.

Alors, le cube total de la maçonnerie :

$$3.60\times0.50\times0.50+1.40\times2\times0.50+19.60\times0.50+2.33\times2+24.11=40^{m}.87.$$

La surface de la chape sera :

$$2.20\times2+14.96=19^{m}.36.$$

Le cube des bois pour cintrement :

$$0.29\times2\times0.50+0.27\times0.50+0.13\times2+1.07=1^{m}.75.$$

Si le radier n'est pas de la même maçonnerie que le reste, le tableau précédent en indique séparément le cube. Si les voussoirs de tête sont en pierre de taille, on en fait le cube, que l'on déduit du cube total de la maçonnerie. En un mot, on peut diviser, d'une manière très-facile, à l'aide des calculs qui précèdent, toutes les espèces différentes de maçonneries.

CHAPITRE XI.

Du prix des ouvrages.

187. Il est de la plus grande importance, pour les constructeurs, de bien connaître le prix des ouvrages qu'ils doivent faire exécuter. Le peu de confiance qu'inspirent quelques-uns, tient moins quelquefois au manque de talent qu'aux erreurs de leurs évaluations. L'administration et les particuliers ont besoin de connaître d'avance l'importance des dépenses auxquelles ils s'engagent. Suivant l'évaluation, ils se décident à donner suite à leurs projets ou à les abandonner. D'autres considérations encore font, pour ainsi dire, un devoir au constructeur de s'appliquer à acquérir cette partie importante des nombreuses connaissances qu'il doit posséder : les entrepreneurs s'en rapportent le plus souvent au détail estimatif de l'auteur du projet ; si les prix sont trop élevés, le propriétaire est réellement lésé, et l'adjudicataire fait, à son détriment, un bénéfice illicite ; si, au contraire, ils sont trop bas, l'entrepreneur est constitué en perte ; et, dans les deux cas, le constructeur est moralement responsable des dommages que cause son ignorance, soit au propriétaire, soit à l'entrepreneur.

On conçoit d'avance combien doit varier le prix des ouvrages suivant les localités et la nature des matériaux que l'on emploie ; aussi serait-il impossible de formuler quelque chose de général sur ce sujet si on ne rapportait tous les prix à une même unité, c'est-à-dire au prix de la journée de travail de l'ouvrier. Cette unité n'est nullement arbitraire, car si l'on réfléchit à ce qui compose la valeur d'un objet quelconque, on verra que c'est le travail que cet objet a coûté. Cependant, comme une foule d'ouvriers concourent souvent à la production d'un objet très-simple, il serait fort long d'analyser ce que chacun y a employé de temps; on arrête cette recherche en partant du prix vénal des objets. Par exemple, s'agit-il de trouver le prix de la pierre de

taille, on part de celui qu'elle a à la carrière, si le propriétaire la fait exploiter pour en faire une branche de commerce, et l'on ne s'occupe point du temps que les ouvriers carriers ont mis pour la fendre, pour la sortir, etc.

Aussi nous distinguerons, dans l'évaluation du prix des ouvrages, trois éléments principaux :

1° Le prix de la journée des différents agents que l'on emploie ;

2° Le temps employé par les agents dans la main-d'œuvre des travaux ;

3° Enfin le prix des matières brutes.

Le prix de la journée des ouvriers, dont la fixation se lie aux plus hautes considérations d'économie politique, et qui doit, dans tous les cas, équivaloir au moins au prix des choses indispensables à la vie, est toujours débattu entre l'ouvrier et le chef de l'industrie; il en ressort un prix moyen pour chaque espèce d'ouvrier, dans chaque localité, que l'on peut adopter.

Le prix de la journée des agents, autres que l'homme, se règle de la même manière.

Le temps employé par les agents, dans la main-d'œuvre des travaux, s'obtient par l'expérience et offre encore de nombreuses variations, suivant les matériaux employés; du reste, c'est le seul élément susceptible d'être formulé.

Il en est du prix des matières brutes comme du prix de la journée d'ouvriers : il varie avec les localités. Le seul fait qui, dans la transformation de la matière, puisse être regardé comme à peu près constant, est le déchet, c'est-à-dire les réductions de volume ou de poids qu'elle éprouve par la mise en œuvre; ainsi, pour la pierre de taille, nous avons calculé que dans la taille, il y avait environ un dixième de déchet.

Le tableau suivant donne le temps employé aux différents travaux qui peuvent se présenter dans la construction des ponts. Nous ne parlons pas des transports des matières à pied d'œuvre ; nous avons donné les formules dont on se sert pour ce calcul dans la première partie de ce Manuel. On conçoit, d'ailleurs, que les résultats ne sont rigoureusement vrais que pour les matières sur lesquelles les expériences ont été faites; ainsi, par exemple, le temps employé à la

taille de pierre varie avec la nature de cette matière ; il varie encore avec le plus ou moins d'aptitude des ouvriers, suivant les différents pays. Il est vrai qu'il serait peut-être juste de ne pas prendre en considération ce dernier élément et de ne considérer que le temps employé par un bon ouvrier, qui a plus de valeur que celui d'un mauvais. S'il est équitable de donner aux ouvriers un salaire tel qu'ils puissent vivre, il est raisonnable aussi que le zèle et l'aptitude soient récompensés.

INDICATION DES TRAVAUX.	RÉSULTATS OBTENUS PAR DIVERS AUTEURS.	OBSERVATIONS.
Dragage d'un mètre cube de sable ou vase.	h 6.00	
Id. de sable à la profondeur moyenne de 1.50.	h 10.00	
Dragage d'un mètre de graviers, pierre, glaise, à la profondeur moyenne de 3 mètres.	h 3.50 (1)	(1) Dragage à trois hottes. Quatre hommes se relevant toutes les deux heures; le nombre d'heures appartient à tout l'atelier.
Dragage d'un mètre de sable, à 2 et 3 mètres de profondeur moyenne, avec la drague à hotte servie par 5 manœuvres.	1.00	
Mètre carré de revêtement en gazon, extraction.	1.30 0.69 0.50 1.18	
Id. approche et emploi.	1.30 1.45	
Corrois en glaise; main-d'œuvre d'un mètre cube pour l'humecter, la pétrir, y compris emploi.	11.00 4.42 8.97 (2)	(2) Suivant que les ouvriers sont très-exercés ou peu.
Emploi seul de la glaise.	1.00	
MAÇONNERIE.		
Un mètre cube de pierre de taille ou liba-		

ges transportés sur un binard, manœuvré par un chef bardeur et six manœuvres :				
Chargement et déchargement. . . .	1.80			
Transport à 100 et retour.	0.19			
Un mètre cube de pierre de taille, transporté au binard, attelé de 2 chevaux, avec un charretier, un bardeur et trois manœuvres :				
Chargement et déchargement.	1.35			
Parcours de 100 et retour.	0.10			
Levage de 1 mètre de pierre de taille, à la chèvre, 1 brayeur et 4 manœuvres :				
Brayage et débrayage.	1.33			
Temps pour monter à la hauteur moyenne de 5 mètres.	1.33			
Levage de 1 mètre de pierre de taille par 8 bardeurs :				
Brayage et débrayage.		2.17	1.50	
Montage à 10 mètres.		0.54		
Un mètre carré de repiquement de rocher schisteux, pour établissement des travaux d'art, un tailleur de pierre. . . .		5.00		
Id. de rocher quartzeux, en brisant les arêtes à la masse ; un tailleur. . . .		9.00		

INDICATION DES TRAVAUX.	RÉSULTATS OBTENUS PAR DIVERS AUTEURS.	OBSERVATIONS.
Un mètre cube de moellon de schiste, extraction seulement ; un carrier. . . .	5.00	
Id. de moellon de schiste, propre à l'essemillage ; un carrier.	8.00	
Id. propre au piquage ; un carrier. . . .	30.00	
Ebauchage ; un tailleur de pierre. . . .	3.33	
Un mètre cube de moellon granitique propre à être piqué ; un carrier et un manœuvre.	20.00	
Id. de pierre de taille de bas appareil en granit, extraction et ébauchage ; un carrier et un manœuvre.	25.00	Déchet 1/8.
Id. de pierre de taille granitique de haut appareil :		
Extraction ; deux tailleurs de pierre et un manœuvre.	20.00	
Ebauchage ; un tailleur de pierre.		
Un mètre cube de pierre de taille, de haut et de bas appareil ; charge et décharge à pied-d'œuvre :		

Charge. 8 manœuvres.		2.00	
Décharge 3 id.		2.00	
Extinction de 1 mètre de chaux hydraulique.	10.00		
Extinction de chaux vive, y compris le service de l'eau.	8.00		Dans le prix du mortier on doit faire attention au déchet qu'éprouve la chaux dans l'extinction, à raison des morceaux mal cuits.
Le service de l'eau seul.	3.00		
Un mètre cube d'argile crue en poudre, pour la composition des mortiers :			
Concassage et passage à la claie ; un manœuvre.		3.33	
Un mètre cube d'argile cuite pour fabrication de mortier hydraulique :			Combustion, 100 fagots de genêt.
Concassage et passage à la claie de l'argile cuite ; un manœuvre.		3.33	
Charge et transport près du four ; un manœuvre.		3.00	
Surveillance, charge et décharge du four, tamisage et emmagasinement ; un chef ouvrier.		20.00	
Fabrication de 1 mètre de mortier de chaux grasse.	10.00	14.50	Le déchet qu'éprouve le mortier, dans son emploi, est environ 1/20 du volume.
Un mètre cube de mortier fabriqué au manége :			
Un cheval attelé au manége.		2.00	

INDICATION DES TRAVAUX.	RÉSULTATS OBTENUS PAR DIVERS AUTEURS.	OBSERVATIONS.
Façon de 1 mètre de maçonnerie de pierre de taille pour murs circulaires : même atelier que dessous.	4.05	
Id. de pierre de taille pour murs droits : un poseur, un contre-poseur, un manœuvre, deux goujats.	3.38	
Id. de pierre de taille pour voûtes, fûts de colonne : même atelier que dessus. . .	6.75	
Id. de pierre de taille pour arêtes des voûtes en arc de cloître : même atelier.	10.13	
Façon de 1 mètre de maçonnerie de pierre de taille : un poseur, deux contre-poseurs et un manœuvre :		
Pour la pose.	3.00	
Pour le fichage..	2.00	
Façon de 1 mètre carré de maçonnerie de pierre de taille, pour dallages verticaux de 0.06 d'épaisseur : même atelier. . .	1.30	
Façon d'un mètre carré de maçonnerie de parement de pierre de taille, pour pose		

Plus value pour façon de parement : un maçon.		3.33			
1 mètre carré de rejointoiement sur pierre de taille ou moellons piqués de fort appareil :					
Un maçon.		3.00			
Un manœuvre.		0.30			
Façon de 1 mètre de maçonnerie de moellons, avec mortier de chaux et sable : un maçon et son goujat..	6.00	5.60	4.50	5.50	
Façon de 1 mètre de maçonnerie de moellons, avec sujétion et échafauds. . . .	6.50				
Façon de 1 mètre de maçonnerie de moellons, hourdée en plâtre : un maçon et son goujat.	4.50			7.50	En y comprenant le gâchage du plâtre.
Façon de 1 mètre de maçonnerie en pierre meulière, avec mortier : un maçon et son goujat.	7.00	7.50			
Façon de 1 mètre carré de parement de meulière à sec, avec sujétion : un maçon.	0.80	0.50			
Façon de 1 mètre carré de parement de moellons hourdé et rejointoyé : un maçon.	1.00	1.00			
Façon de 1 mètre carré de parement de moellon hourdé pour les voûtes : un maçon	1.50				Le déchet du moellon dans l'emploi est d'environ un 1/10.

INDICATION DES TRAVAUX.	RÉSULTATS OBTENUS PAR DIVERS AUTEURS.			OBSERVATIONS.
Quatre manœuvres pour conduite, dosage et bardage, étalage sur une aire et pilonnage de ce mortier après qu'il a repris de la consistance; un manœuvre. . .		3.33		
Fabrication de 1 mètre de mortier de chaux hydraulique.	15.00			Y compris l'extinction de la chaux, la fabrication du mortier et le mélange.
Id. *id.* de béton.		16.00		
Emploi sous l'eau d'un mètre cube de moellons pour enrochement.	1.00	0.40	0.80	
Façon de 1 mètre de maçonnerie de moellons posés à sec; un maçon et son goujat	5.00	4.00		
Un mètre cube de maçonnerie en pierres sèches :				
Façon.		7.50		
Service et bardage.		10.00		
Un mètre carré de parements de murs en pierres sèches; un maçon.		5.00		
Un mètre cube de maçonnerie en pierres sèches; façon, un maçon et un manœuvre.		5.00		

Plus value pour façon de parements : un maçon.		3.33			
1 mètre carré de rejointoiement sur pierre de taille ou moellons piqués de fort appareil :					
Un maçon.		3.00			
Un manœuvre.		0.30			
Façon de 1 mètre de maçonnerie de moellons, avec mortier de chaux et sable : un maçon et son goujat..	6.00	5.60	4.50	5.50	
Façon de 1 mètre de maçonnerie de moellons, avec sujétion et échafauds. . . .	6.50				
Façon de 1 mètre de maçonnerie de moellons, hourdée en plâtre : un maçon et son goujat.	4.50			7.50	En y comprenant le gâchage du plâtre.
Façon de 1 mètre de maçonnerie en pierre meulière, avec mortier : un maçon et son goujat.	7.00	7.50			
Façon de 1 mètre carré de parement de meulière à sec, avec sujétion : un maçon.	0.80	0.50			
Façon de 1 mètre carré de parement de moellons hourdé et rejointoyé : un maçon.	1.00	1.00			
Façon de 1 mètre carré de parement de moellon hourdé pour les voûtes : un maçon	1.50				Le déchet du moellon dans l'emploi est d'environ un 1/10.

INDICATION DES TRAVAUX.	RÉSULTATS OBTENUS PAR DIVERS AUTEURS.	OBSERVATIONS.
Façon de 1 mètre carré de maçonnerie de parement de moellon essemillé; essemillage et rejointoiements, parties droites : un maçon.	9.00	Le mortier qui entre dans 1 mètre cube de maçonnerie de moellon peut être évalué de 20 à 40 centièmes.
Pour les voûtes et parties circulaires : un maçon.	10.00	
Façon de 1 mètre carré de parement de moellons ; les moellons taillés à la pointe : Un maçon; murs droits.	11.00	Le mortier qui entre dans les rejointoiements peut être évalué de 6.01 à 0.02 par mètre carré de parement.
1 mètre cube de maçonnerie de moellons piqués :		
Façon ; un maçon.	5.00	0.20 cubes de mortier pour un fort appareil.
Service et bardage ; un manœuvre. .	20.00	
1 mètre cube de maçonnerie de moellons piqués :		Appareil moyen.
Façon ; un maçon.	5.00	0.25 de mortier.
Bardage et service ; un manœuvre. .	8.00	
1 mètre cube de maçonnerie en moellons essemillés ou en moellons de blocage : un maçon.		0.25 de mortier.

Service et bardage : un manœuvre. . . .				
Façon de 1 mètre carré de parement de moellons ; voûtes et parties circulaires. .	12.00			
Façon de 1 mètre cube de maçonnerie de libages à sec : un poseur, deux contre-poseurs et un manœuvre.	2.00			On nomme libages des pierres brutes de fortes dimensions, trop fortes pour être appelées moellons et trop irrégulières pour être classées parmi les pierres de taille. Le déchet varie entre 1/5 et 1/20.
Id. avec mortier de chaux et sable.. . .	2.50	1.80	2.81	
Façon de 1 mètre cube de maçonnerie de libages, avec mortier de chaux et sable : un maçon et son goujat..	9.46			
Façon de 1 mètre de maçonnerie de pierre de taille de roche pour parement de murs, voûtes, marches, parapets, etc., pose et fichage, quel que soit l'appareil : un poseur, deux contre-poseurs, un manœuvre.	4.00	3.70		
1 mètre cube de maçonnerie de pierre de taille ; pose et contre-pose : un maçon.		15.00		0.10 cubes de mortier.
Bardage : un manœuvre.		35.00		
Façon de 1 mètre de maçonnerie de pierre de taille pour bornes isolées, auges, etc. : un maçon et son goujat.	10.81			
Id. de pierre de taille pour canivaux, gargouilles, dalles, etc. : un maçon et un goujat.	24.32			

INDICATION DES TRAVAUX.	RÉSULTATS OBTENUS PAR DIVERS AUTEURS.		OBSERVATIONS.
Façon de 1 mètre de maçonnerie de pierre de taille pour murs circulaires : même atelier que dessous.	4.05		
Id. de pierre de taille pour murs droits: un poseur, un contre-poseur, un manœuvre, deux goujats.	3.38		
Id. de pierre de taille pour voûtes, fûts de colonne : même atelier que dessus. . .	6.75		
Id. de pierre de taille pour arêtes des voûtes en arc de cloître : même atelier.	10.13		
Façon de 1 mètre de maçonnerie de pierre de taille : un poseur, deux contre-poseurs et un manœuvre :			
Pour la pose.		3.00	
Pour le fichage..		2.00	
Façon de 1 mètre carré de maçonnerie de pierre de taille, pour dallages verticaux de 0.06 d'épaisseur : même atelier. . .	1.30		
Façon d'un mètre carré de maçonnerie de parement de pierre de taille, pour pose			

seulement : même atelier. Queue de :					
0.90 à 1.00.		5.00			
0.80 à 0.90.		4.50			
0.70 à 0.80.		4.00			
0.60 à 0.70.		3.50			
0.50 à 0.60.		3.00			
1 mètre carré de sciage de pierre de roche : deux scieurs.	4.75				
Façon d'un mètre carré de taille de pierre de Saillancourt, taille piquée, rustiquée entre ciselures : un tailleur de pierre. .	7.73	7.50			
Taille des parements courbes, moitié en sus.					
Taille des joints, 1/3 de la taille des parements					
1 mètre carré de taille layée et unie, sans sciage.	14.50	15.19		15.00	
Id. de taille pour marbre de Stinkal, ciselé au poinçon et proprement. . . .			21.01		
Id. de taille de joints, grossièrement piqué.			5.28		
Id. de taille de granit, taillé à la pointe. .				27.50	
Id. de taille rustique de granit.			28.00		
Id. *id.* de roche de Paris.. . .			9.00		
Id. *id.* de Vergelet..			3.50		
Id. de parement vu, de pierre de taille en granit :					
Un tailleur de pierre.		20.00			

Le temps indiqué pour la taille comprend non-seulement l'exécution de la surface, mais encore l'abattage de la pierre.

Si l'abattage a pour objet l'exécution de quelques parties rampantes ou d'angles aigus ou obtus, il faut compter pour 1 mètre de pierre abattue dix fois le temps d'un mètre carré de parement.

On peut regarder le granit et le vergelet tendre comme les pierres les plus dures et les plus tendres qui soient employées dans la construction, de sorte que la taille des autres est comprise entre ces limites.

Le temps nécessaire pour la taille des parements droits étant connu, la main-d'œuvre des parements courbes peut, d'après Gauthey, s'estimer par la formule suivante :

$$T' = \frac{T}{r}(r + 0.75)$$

dans laquelle T = le temps de la taille du parement droit ; r = le rayon de courbures du parement courbe.

INDICATION DES TRAVAUX.	RÉSULTATS OBTENUS PAR DIVERS AUTEURS.	OBSERVATIONS.
1 mètre carré de moellons piqués de granit :		
Un tailleur de pierre.	22.25	
Id. de moellons essemillés de schiste :		
Un tailleur de pierre.	7.50	
Id. de moellons équarris de schiste : un tailleur de pierre.	3.00	1 pointe de marteau.
Id. de taille très-soignée en granit, pour chardonnets, heurtoirs, bases et parements courbes :		
Un tailleur de pierre.	80.00	
(Plus 50 pointes de marteaux à 0,05 ou 2,50).		
1 mètre carré de taille à la grosse pointe, en pierre de granit : un tailleur de pierre.	30.00	12 pointes de marteau.
1 mètre carré de parements vus, de moellons de granit piqués : un tailleur de pierre.	22.50	9 pointes de marteau.
1 mètre carré de parements vus, en moellons essemillés de schiste ou de grès : un		

tailleur de pierres..	12.50		5 pointes de marteau.
1 mètre carré de moellons épincés de grand épinçage : un tailleur de pierre.	2.50		
Id. de parements vus, en moellons épincés, de schiste ou grès :			
Un tailleur de pierre.	1.70		
Id. de piquage de moellons schisteux :			
Un tailleur de pierre.	7.50		
Id. de piquage de moellons granitiques :			
Un tailleur de pierre.	20.00	25.00	
Id. de parement de pierre de taille de bas appareil, en granit :			
Un tailleur de pierre.	25.00		Les parties arrondies, moitié en sus.
Id. de haut appareil :			
Un tailleur de pierre.	30.00	35.00	Les parties arrondies, 1/3 en sus.
Id. de parements vus, de moellons piqués de granit.	25.00		
Id. de parements vus, de pierre de taille de bas appareil, en schiste.	30.00		Les parties arrondies, moitié en sus.
Id. de taille de parements droits layés :			
Liais fin de Paris.	13.68		1/2 taille pour les parements rustiques seulement.
Roche de Saillancourt.	11.84		
Pierre franche de l'abbaye du Val.	8.42		1/2 taille pour taille des lits bien faits.
Vergelet dur.	5.27		
Vergelet tendre	3.94		1/3 de taille pour joints et lits de claveaux et voussoirs.

INDICATION DES TRAVAUX.	RÉSULTATS OBTENUS PAR DIVERS AUTEURS.	OBSERVATIONS.
Moitié en sus pour taille circulaire-layée des intrados, etc., y compris ébauche et taille préparatoire.		1/2 taille pour joints à deux ciselures, formant parpaing.
1 mètre carré de sciage de pierre de taille; deux scieurs :		
Liais fin de Paris..	5.39	
Roche de Saillancourt.	4.73	
Pierre franche de l'abbaye du Val.	2.96	
Vergelet dur.	1.97	
Vergelet tendre.	1.05	
1 mètre cube de refouillement sur le chantier entre plusieurs parties conservées, comme évidement de soupirail; dans une assise de retraite :		Lorsque la section du refouillement est au-dessous de 0.0025 mètre carré, on compte pour 1 mètre cube de pierre refouillée 100 fois le temps nécessaire pour 1 mètre carré de parement rustiqué. Lorsque la section du vide est comprise entre 0.0025 et 0.01 on emploie 50 fois le même temps; lorsqu'elle est au-dessus, on compte 20 fois.
Liais fin de Paris..	189.61	
Roches de Saillancourt..	160.44	
Pierre franche de l'abbaye du Val. . . .	117.00	
Vergelet dur.	66.00	
Vergelet tendre.	44.00	
1 mètre courant de refouillement dans la		

pierre de taille de granit, pour les chardonnets, les enclaves, les heurtoirs, les buscs et les rainures d'une écluse : un tailleur de pierre.		40.00		16 pointes.
1 mètre courant de refouillement dans la même pierre, à la rencontre des bajoyers avec le radier : un tailleur de pierre.		15.00		
Refouillement dans la pierre de taille de bas appareil ; 1 mètre cube : un tailleur de pierre.		150.00		6 pointes.
1 mètre cube de refouillement dans la pierre de taille granitique de haut appareil.		350.00	420.00	
1 mètre cube de refouillement dans la pierre de taille de bas appareil en schiste : un tailleur de pierre.		250.00		40 pointes.
1 mètre cube de refouillement entièrement à la masse et au poinçon pour incrustement de carreaux de 50 centimètres en carré :				60 pointes. Si le refouillement est exécuté sur le tas, on doit compter 1/10 en sus du temps ci-dessus indiqué, en outre on doit, dans tous les cas, compter la taille des parements intérieurs.
Liais fin de Paris.	255.00			
Roche de Saillancourt.	219.00			
Pierre franche de l'abbaye du Val. . . .	175.00			
Vergelet dur.	102.00			On compte ordinairement

INDICATION DES TRAVAUX.	RÉSULTATS OBTENUS PAR DIVERS AUTEURS.			OBSERVATIONS.
Vergelet tendre.	73.00			pour la taille des joints les 4/5 du temps de celle du parement et pour la taille des lits les 3/10. Le déchet pour la taille varie du 10e au 1/4. Le mortier qui entre dans 1 mètre cube de maçonnerie de pierre de taille varie du 10e au 20e. On compte ordinairement pour ragréement le 20e de la taille primitive.
Mètre cube de refouillement, évidement, épannelage.		146.00		
1 mètre carré de chape de 0.08 d'épaisseur avec mortier de chaux hydraulique et sable : un maçon pour employer le mortier et lisser la chape.	2.70			
Manœuvres pour étendre la chaux, faire le mortier et le porter.	4.00			
1 mètre cube de mortier pour chape ; pour étendre et lisser :				
Un maçon et un manœuvre.		4.50		
Pour battre 1 mètre carré de chaque couche de chape.		1.50		
1 millier de briques ayant 0.22 de longueur, 0.11 de largeur et 0.055 d'épaisseur ; confection, extraction de la terre (1m.75) et transport : un manœuvre. . .			4.00	
Pour le corroyement : un corroyeur. . .			3.75	

Moulage : un atelier composé de un chef briquetier et son aide ; deux mouleurs, deux porteurs et deux poseurs. . . .			1.25	
Pour recouper les bavures, rabattre les briques, les mettre en haie : deux manœuvres			1.25	
Mise au four : deux hommes pour arranger les briques et le charbon, quatre rouleurs, un passeur, un porteur de charbon, surveillés par le maître briquetier.			0.63	
Mètre cube de maçonnerie de briques ; emploi : un maçon et un manœuvre :				Le déchet des briques dans l'emploi est d'environ un 20e.
Pour les massifs en briques hourdées. . .	5.00			
Pour les murs en élévation, exigeant échafauds.	7.00			Non compris la sujétion pour parements.
Mètre carré de parement en briques : un maçon.				
Briques hourdées, compris le rejointoiement sans sujétion :				On évalue le nombre de briques qui entrent dans 1 mètre cube, d'après leur grandeur et celle des joints. Le même calcul donne la quantité de mortier à employer.
Murs droits, mortier de chaux et sable. .	1.20			
Voûtes ou parties circulaires.	1.80			
Mètre cube de maçonnerie de briques, emploi avec mortier hydraulique par assises réglées : un maçon et son manœuvre.		6.66		

INDICATION DES TRAVAUX.	RÉSULTATS OBTENUS PAR DIVERS AUTEURS.	OBSERVATIONS.
Mètre carré de rejointoiement :		
Murs droits : un maçon.	1.00	
Pour voûtes : un maçon.	1.60	
Mètre carré de rejointoiement de parement de briques après exécution :		
Murs droits sans échafaud : un maçon et son manœuvre.	1.25	
Avec échafaud.	1.50	
Mètre courant de rejointoiement de maçonnerie de pierre de taille : un maçon et son manœuvre..	0.50	
Mètre courant de rejointoiement sur vieille maçonnerie de pierre de taille.	0.60	Le volume de mortier consommé est de 0.001 cubes.
1 mètre carré de rejointoiement sur le parement vu en pierre de taille, en moellons piqués, ou en moellons essemillés : un maçon.	3.00	
Un manœuvre.	0.40	0m,002 de mortier.
1 mètre carré d'enduit ou crépi pour maison : un maçon et un manœuvre. . . .	0.67	

188. Le tableau qui précède donne une idée générale du temps nécessaire pour effectuer les principaux travaux qui se rapportent à la maçonnerie. Le projet de pontceau a fait voir comment, à l'aide de ces notions, on composait les prix de chaque espèce d'ouvrage, mais comme à cette occasion, nous n'avons composé que les détails qui nous étaient utiles, nous allons en donner un plus grand nombre. On pourra trouver ainsi, dans toutes les circonstances qui se préseteront, non le prix de l'ouvrage à exécuter, mais le cadre que l'on devra remplir d'après les localités.

Les détails suivants reposent sur le prix des journées fixé comme ci-dessous.

Poseur	4.00
Contre-poseur	2.75
Maçon de 1re classe	2.50
id. de 2e classe	2.10
id. de 3e classe	1.75
Tailleur de pierre	3.00
Piqueur de grès au fin	2.00
Manœuvre	1.50
Goujat	1.20
Bardeur	2.00
Paveur et son aide	4.00
Couvreur et plafonneur	2.50
Un cheval pour manége, conducteur compris	4.50
Voiture à un cheval, conducteur compris	5,00
id. à deux chevaux, id.	8.50
id. à trois chevaux, id.	12.00

Nous supposons, dans les détails suivants, les matériaux rendus sur le chantier; on ne peut rien dire de général sur le prix d'achat aux carrières, aux mines ou dans les magasins; cet élément varie dans chaque cas, il ne s'agit que d'évaluer la main-d'œuvre d'emploi.

Prix de 1 *mètre cube de dragage jusqu'à* 2 *mètres au-dessous de la nappe d'eau, terre végétale, tourbeuse, etc., etc.*

Dragage et charge en bateau	0.26	
Déchargement sur le bord de la fouille ou dans les brouettes	0.13	
Entretien du bateau, drague et faux frais.	0.02	
	0.41	
Dixième de bénéfice à l'entrepreneur. .	0.041	
Prix du mètre cube.	0.441	0.44

Prix de 1 *mètre cube de dragage de craie, à la même profondeur.*

Division de la craie à l'aide d'un grapin, dragage et charge dans les bateaux . .	0.75	
Déchargement sur le bord de la fouille ou dans les brouettes.	0.220	
Entretien des bateaux, dragues et faux frais	0.049	
	1.019	
Dixième de bénéfice.	0.102	
Prix du mètre cube.	1.121	1.12

Prix de 1 *mètre cube de dragage de terre végétale tourbeuse, depuis* 2 *mètres jusqu'à* 3.50 *sous l'eau.*

Dragage et charge dans les bateaux. . . .	0.390	
Déchargement sur le bord de la fouille ou dans les brouettes.	0.130	
Entretien des bateaux, dragues et faux frais, 1/20	0.026	
	0.546	
Dixième de bénéfice.	0.054	
Prix du mètre cube.	0.600	0.60

Prix de 1 *mètre cube de dragage de traie, gravier, etc., à la même profondeur.*

Dragage et charge dans les bateaux. . . .	1.430	
Déchargement sur le bord de la fouille ou dans les brouettes.	0.220	
Outils et faux frais, 1/15.	0.110	
	1.760	
Dixième de bénéfice.	0.176	
Prix du mètre cube.	1.126	1.94

Prix de 1 *mètre cube de déblai de terre argileuse ou tourbeuse, draguée depuis* 1.65 *jusqu'à* 4 *mètres sous l'eau avec une machine à hotte.*

Une machine à draguer emploiera 4 manœuvres pour tourner la manivelle ; 3 manœuvres à draguer avec des lances au-devant des élindres ; un manœuvre pour faire mouvoir le tablier ; 2 manœuvres pour charger dans les bateaux ; en tout 9 journées à 1.50 font. . 13.50	
Une machine ainsi manœuvrée pourra extraire, dans une journée, 15 mètres cubes de déblai, déduction faite du temps perdu, soit pour échafauder, soit pour changer la machine de place, soit enfin pour réparer, augmenter ou diminuer la chaîne, ce qui fait revenir le mètre cube à	0.900
Un compagnon charpentier, payé 3.00 par jour, peut diriger et conduire deux machines à draguer, ce qui fait pour une 1.50, et pour chaque mètre cube de déblai	0.10
Un marinier et un manœuvre, payés ensemble 4.00 par jour, transporteront, à une distance moyenne de 100 mètres et déchargeront les 15 mètres cubes, ce qui donne pour chaque mètre cube . .	0.27
A reporter.	1.27

Report	1.27	
Frais de bateau pour le transport.	0.10	
Une drague neuve coûte ordinairement 3,000 francs. On suppose qu'elle peut être employée à l'extraction de 12,000 mètres cubes, ce qui fait pour frais de drague par mètre	0.25	
1/20 pour madriers, cordage, outils. . . .	0.08	
	1.70	
Dixième de bénéfice.	0.17	
Prix du mètre cube. . . .	1.87	1.87

Prix de 1 mètre cube de cailloux mêlés de craie, dragué comme au détail précédent.

La machine manœuvrée comme dessus n'extraira que dix mètres cubes; ce qui fait revenir chaque mètre cube à. .	1.35	
1/2 journée de charpentier pour le service.	0.15	
Transport à 100 mètres comme dessus, pour chaque mètre	0.40	
Frais de bateau, comme au détail précédent	0.10	
Frais de machine; en supposant qu'une drague de trois mille francs ne peut servir qu'à l'extraction de 9,000 mètres, les frais, pour chaque mètre cube, reviendront à	0.33	
1/20 pour madriers, cordages et faux frais	0.11	
	2.44	
Dixième de bénéfice.	0.24	
Prix du mètre cube. . . .	2.68	2.68

Prix du battage d'un pilot de fondation, prenant 3 mètres de fiche, dans une terre argileuse mêlée de cailloux de crai.

Une sonnette à tirandes, portant un mouton du poids de 250 kilogrammes, manœuvrée par 18 hommes, payés 1.50

par jour, et un charpentier enrimeur, payé 3 francs, battra quatre pilots par jour, ce qui donne pour un	7.50	
Frais de machine, échafaudage et conduite.	0.75	
	8.25	
Bénéfice.	0.825	
	9.075	9.07

Prix du battage d'un pilot de 0.20 *d'équarrissage et audessus, prenant* 3 *mètres de fiche, pour former l'enceinte des bâtardeaux.*

Une sonnette, manœuvrée comme ci-dessus, battra 6 pilots par jour, ce qui fait revenir le battage d'un pilot à	5.00	
Faux frais, 1/10.	0.50	
	5.50	
Bénéfice.	0.50	
	6.00	6.00

Prix du battage de 1 *mètre courant de palplanches, prenant moyennement* 2 *mètres de fiches.*

Une sonnette, manœuvrée comme précédemment, battra 4 mètres courants de palplanches, ce qui fait revenir le mètre courant à.	7.50	
Frais d'échafaudage, de sonnette et de conduite	1.00	
	8 50	
Bénéfice.	0.85	
Prix du mètre courant . .	9.35	9.35

Prix de 1 *mètre cube de béton pour fondations.*

0.21 à 0.17 de chaux hydraulique à . . .
0.42 à 0.34 de sable de rivière à . . . . . .
0.75 à 0.95 de cailloux siliceux, lavés, à .

Façon du béton, transport, versement et compression; trois journées de manœuvre à 1.50	4.50	
Frais de trémies, bateaux et cordages	2.50	

NOTA. Ce prix indique les dosages en plus ou en moins dans lesquels on doit se renfermer.

NOTA. Le détail estimatif du projet de ponteau comprend des modèles du prix du mètre cube de maçonnerie en moellons bruts et essemillés, en pierre de taille, du prix du mètre carré de taille, etc. Nous n'en reproduirons point ici.

Prix du mètre carré de maçonnerie de grès piqués sur 0.35 de queue moyenne.

1 mètre carré de grès piqués rendus sur le chantier, vaut	16.65	
Piquage à la fine pointe, compris lits et joints	9.25	
0.05 à 0.08 de mortier de chaux et ciment, à 24.09	1.93	
Main-d'œuvre, 1/3 de journée de maçon, à 2.50	0.80	
Bardage, 1/3 de journée de bardeur, à 2 francs	0.67	
Ragréément, rejointoiement et faux frais (0.85 à 0.25)	0.25	
	29.55	
Bénéfice	2.95	
Prix du mètre carré	32.50	32.50

Prix du mètre carré de maçonnerie de boutisses de grès.

0.20 de mortier de ciment, à 24.09	4.82	
25 boutisses à 2.50 l'une	62.50	
Pour pose et rejointoiement, une journée de maçon	2.50	
Approche des matériaux et faux frais	1.50	
	71.32	
Bénéfice	7.13	
	78.45	78.45

Chaque boutisse de 0.20 d'équarrissage et de 0.70 de longueur, reviendra à.		3.14

Prix de 1 mètre carré de maçonnerie de grès en pavés de grès de 0.20 sur 0.22 d'échantillon, avec mortier de ciment.

18 pavés à 350 fr. le mille.	6.30	
0.08 à 0.05 de mortier de ciment, à 24.09, ci.	1.20	
Bardage, pose et rejointoiement.	0.70	
Faux frais.	0.04	
	8.24	
Bénéfice.	0.02	
Prix du mètre carré. . . .	9.06	9.06

Prix de 1 mètre cube de maçonnerie de briques gressées, au bois, avec mortier de ciment.

660 briques à 36 fr. le mille.	23.76	
0.125 de mortier de ciment, à 17.42. . . .	2.18	
Approche des matériaux, 5 heures de goujat.	0.60	
Main-d'œuvre, 3/4 de journée de maçon, à 2.50.	1.88	
Outils et faux frais.	0.10	
	28.52	
Bénéfice.	2.85	
Prix du mètre cube. . . .	31.37	31.37

Prix de rejointoiement de 1 mètre carré de maçonnerie de briques, au mortier de ciment.

0.008 de mortier, à 24.09.	0.19	
Main-d'œuvre, une heure de maçon et goujat.	0.40	
Frais d'échafaudage.	0.02	
	0.61	
Bénéfice.	0.06	
Prix du mètre carré. . . .	0.67	0.67

Prix de 1 mètre cube de maçonnerie de briques cassées, avec mortier de chaux et ciment.

Un mètre cube de briques cassées.	6.50	
0.25 de mortier, à 8.00.	2.00	
Approche et façon comme dessus.	2.48	
Outils et faux frais.	0.10	
	11.08	
Bénéfice.	1.11	
Prix du mètre cube.	12.19	12.19

Prix du mètre carré de jointoiement des parements de maçonnerie de pierre de taille de haut appareil.

Refouillement, nettoiement et lavage des joints.	0.06	
Emploi du mortier de ciment et lissage soigné	0.20	
Plus value pour faire les joints en creux.	0.05	
Outils et faux frais.	0.02	
	0.33	
Bénéfice.	0.03	
Prix du mètre carré.	0.36	0.36

Prix de 1 mètre carré d'enduit au mortier d'argile, chaux et bourre.

0.009 de chaux éteinte, à 14.89, ci. . . .	0.13	
0.018 d'argile bien corroyée, à 2.00. . .	0.05	
0k.20 de bourre, à 0.40 le kilog.	0.08	
0h.75 de maçon et goujat, à 0.325.	0.25	
	0.51	
Bénéfice.	0.05	
Prix du mètre carré.	0.56	0.56

Prix de 1 mètre carré de pavage en grès, de 0.20 sur 0.22 d'échantillon.

18 à 20 pavés, à 250 fr. le mille, ci. . . .	4.50	
A reporter.	4.50	

Report.	4.50	
0.20 de sable, à 2.65, ci.	0.53	
Main-d'œuvre, outils et faux frais.	0.35	
	5.38	
Bénéfice.	0.54	
Prix du mètre carré.	5.92	5.92

Prix de 1 mètre carré de relevé à bout.

2 pavés neufs à fournir, à 250 fr. le mille. .	0.50	
0.15 de sable, à 2.65.	0.40	
Façon, y compris démontage de l'ancienne chaussée et repiochage du vieux sable.	0.50	
	1.40	
Bénéfice.	0.14	
Prix du mètre carré.	1.54	1.54

Prix de 1 mètre carré de carrelage en briques posées à plat.

40 briques de choix, à 18 fr. le mille. . . .	0.72	
0.03 de mortier, à 11.31, ci.	0.34	
Main-d'œuvre $1^h.50$ de maçon, à 0.25 . .	0.37	
Approche et faux frais.	0.26	
	1.71	
Bénéfice.	0.17	
Prix du mètre carré.	1.88	1.88

timètres d'épaisseur. Les figures 1, 2, 3, 4 indiquent les dimensions des principales pièces. Dans la figure 5, on voit, en avant de la culée, un marche-pied destiné à laisser circuler, au-dessous du pont, le long des rives, les gens à pied et les chevaux ; les besoins de la navigation nécessitent quelquefois cette disposition. Ce marche-pied est construit exactement de la même manière que la culée, les pièces de charpentes sont seulement d'un équarrissage moindre.

Les figures 1, 2, 3, 4, 5 représentent un projet de passerelle à construire sur une rivière navigable. Les trois arches du milieu ont chacune 7m.30 ; cette différence est motivée par le marche-pied.

PALÉES.

191. Les palées des ponts en charpente sont composées d'une ou de plusieurs files de pieux, battus dans la direction du courant. Lorsque le pont n'est pas très-élevé, ces pieux peuvent être d'une seule pièce (*voir* fig. 4) ; mais cette disposition, lors même qu'elle peut être adoptée, a un grave inconvénient : la partie du pieu qui se trouve au niveau de l'eau est continuellement exposée aux alternatives de sécheresse et d'humidité, le bois se détruit promptement et le pieu se casse en ce point ; on est alors obligé de le renouveler, quoique la portion constamment couverte d'eau soit dans un état parfait de conservation.

Pour éviter l'inconvénient que nous venons de signaler, on établit les ponts en bois sur de basses palées, c'est-à-dire sur des pilots récepés et moisés un peu au-dessous des basses eaux, et sur lesquels on assemble les poteaux qui portent le plancher. On isole ainsi l'une de l'autre les deux parties de la palée qui, par leur position, ont des durées très-différentes. Le tablier et les poteaux peuvent être renouvelés sans qu'il soit nécessaire de toucher aux basses palées. C'est une grande économie, car le battage des pieux exige souvent une dépense considérable et présente quelquefois des difficultés assez grandes.

Pour assujettir les poteaux sur les basses palées, on les pose au-dessus de chaque pieu bout à bout, et, afin de prévenir le déplacement, on perce un trou dans l'axe du pieu et du poteau pour y loger une broche en fer d'environ 1 mètre de longueur, indiquée (fig. 7) par les lettres *b*, *b*, *b*. On moise ensuite tous les pieux par deux moises horizontales NN (fig. 7 et 8), assujetties par un premier système de boulons en fer placés horizontalement. Au-dessus de ces deux moises, on en place

deux autres de même équarrissage, embrassant le pied des poteaux et assujetties entre elles à l'aide de boulons horizontaux, de la même manière que les deux premières. Enfin, pour rendre le tout solidaire, on boulonne les moises NN avec celles indiquées par MM, à l'aide d'un autre système de boulons posés verticalement. Le dessus des moises MM est placé au niveau de l'étiage, de sorte que les quadruples moises sont constamment immergées.

192. Une seule file de pilots présente, dans le sens de la direction du courant, une résistance assez forte pour n'avoir pas à craindre le renversement par suite du choc des corps flottants ; mais il n'en est pas de même du déversement latéral : de la solidité seule du terrain dans lequel les pilots ont pris leur fiche, résulte la résistance qu'ils opposent à ce déversement. Quand la profondeur d'eau est considérable, le levier, par l'intermédiaire duquel les efforts latéraux se transmettent au terrain, est fort long, et il y a lieu alors de chercher à donner le plus de stabilité possible aux basses palées. Pour cela, on les fait double ; on bat deux files de pilots à une distance d'environ un mètre, de milieu en milieu (fig. 10, 11, 12). Chacune de ces files est embrassée dans la longueur par deux moises EE...., boulonnées ensemble ; elles sont ensuite reliées par des entretoises TTT... qui posent sur la tête des pieux ; c'est sur ces dernières pièces que posent les poteaux, et afin qu'ils soient assurés par le pied, ils sont reliés ensemble par un troisième cours de moises MMM....

Quelquefois on a surmonté les deux files de pilots des basses palées de deux files de poteaux pour supporter le plancher, mais il est à remarquer que cette disposition entraîne une dépense inutile, car des poteaux de 30 à 35 centimètres de grosseur peuvent toujours supporter le plancher, quelque surchargé qu'il puisse être.

193. Quand les poteaux ont une grande élévation au-dessus des basses palées, on les relie dans la hauteur par un ou deux cours de moises horizontales. Ces moises ne maintiennent que le parallélisme, pour prévenir le changement de forme, on doit mettre des moises inclinées, on les dispose de beaucoup de manière, mais le but que l'on doit se proposer est d'obtenir des figures triangulaires, puisque ce sont les seules qui ne peuvent pas varier tant que les côtés restent de même longueur ; la figure 4 indique une des dispositions de ces moises inclinées.

Lorsque le pont a peu de largeur et que sa hauteur est au

contraire considérable, on ajoute des avant et arrière pilots destinés à prévenir le déversement (*voir* fig. 4). Ces pilots sont moisés et reliés avec le reste de la charpente.

Les poteaux qui composent la partie supérieure de la palée sont toujours couronnés par un chapeau dont l'effet est de répartir également la charge et de les rendre tous solidaires (*voir* fig. 2), sur ces chapeaux reposent les sous-poutres, puis les poutres du tablier.

Les culées et les palées en bois ont le grave inconvénient de pourrir promptement et bien avant que le tablier ou l'arche qu'elles supportent soient hors d'état de service, aussi le système mixte qui consiste à établir les tabliers et les arches sur des culées et piles en pierre est-il bien préférable.

TRAVÉES.

194. Quand les travées n'ont pas plus de 4 mètres de longueur, on peut se contenter de faire poser les sommiers ou poutres qui les composent sur les chapeaux qui couronnent les palées. La sous-poutre et les contre-fiches de la figure 2 se trouvent supprimées.

Pour une longueur plus grande que 4 mètres et atteignant 7 mètres, on diminue la portée des poutres, soit en adoptant le système indiqué (fig. 2), à l'aide de sous-poutreaux et de contre-fiches, soit à l'aide seulement de contre-fiches. Quand la distance des palées dépasse les dimensions ci-dessus, et que la portée des poutres a de 8 à 11 mètres, alors on les soutient au milieu par une sous-poutre semblable à celle que porte le chapeau de la palée. Cette sous-poutre est maintenue par deux contre-fiches inclinées venant s'arc-bouter contre les poteaux (fig. 13).

Il est rare que l'on puisse trouver des pièces de bois assez longues pour fournir des poutres de 10 à 11 mètres sur un équarrissage de 30 à 35 centimètres, alors on les fait de deux pièces qui viennent se joindre sur la sous-poutre du milieu (fig. 13). Mais cette disposition fait porter plus de la moitié du poids du pont sur les contre-fiches inclinées, ce qui les fatigue beaucoup. Pour éviter qu'elles ne plient, on les relie avec les sous-poutreaux portés sur les chapeaux des palées, par des moises inclinées Quand la travée a plus de 11 mètres, on peut encore employer le système de sous-poutres et contre-fiches; mais alors le sous-poutreau posé sur le chapeau est soutenu lui-même par une contre-fiche reliée et moisée avec celle qui soutient la sous-poutre du milieu. On peut atteindre, de cette manière, jusqu'à des ouvertures de 15 à 16 mètres.

195. Quand on doit employer de plus grandes ouvertures, les pièces de charpente destinées à supporter le tablier, ne peuvent plus être composées d'un seul morceau. On serait, en effet, obligé d'avoir recours à des bois d'un équarrissage tel que la nature n'en offre que par exception. Il est à remarquer d'ailleurs que les pièces de bois ne sont pas dans une condition favorable à la résistance, lorsque l'effort qui tend à les rompre agit perpendiculairement aux fibres. Nous avons déjà fait remarquer, en effet, que, dans ce cas, toutes les fibres ne travaillaient pas également, et ne résistaient ni de la même manière, ni avec la même intensité ; celles qui sont placées à la face convexe s'allongent, tandis que celles qui sont, au contraire, à la face concave se raccourcissent; ces allongements et raccourcissements des fibres varient et diminuent à mesure que l'on va de celles situées à la surface à celles situées vers le milieu de la pièce; on ne peut donc profiter de toute la résistance que possède le bois que pour les fibres à la surface ; les autres n'emploient pas toute leur force. Nous concluons de là qu'une pièce de bois résistant transversalement, travaille d'une manière désavantageuse et ne peut jamais employer toutes ses forces. Si l'on adopte ce mode de construction dans les travées qui n'ont que peu d'ouverture, c'est à cause de sa grande simplicité, qui fait qu'on économise plus sur la main-d'œuvre qu'on ne pourrait le faire sur le bois, en adoptant un système mieux entendu. Aussi, bien que la théorie indique le désavantage de ce genre de construction, on n'en suit pas moins, en pratique, à cet égard, les anciennes habitudes, on ne doit pas en tirer des conclusions désavantageuses à la théorie, cela prouve seulement que celle-ci ne pouvant embrasser toutes les données du problème, n'arrive qu'à une solution incomplète, mais précieuse cependant, tandis que dans la pratique on est tout près des faits, ils se présentent à tous moments au constructeur, le guident, le retiennent et le ramènent continuellement à ce qui est le meilleur et en même temps le plus économique.

196. Si, dans des travées de faible importance, un peu de bois employé inutilement est sans inconvénient, tant pour la solidité que pour la dépense, il n'en est plus de même pour les grandes constructions. Ici tout participe de l'importance du travail même, le bois employé inutilement n'occasionne pas seulement une dépense inutile, mais il ajoute encore, par son poids, une résistance à toutes celles qu'il faut déjà vaincre, et que le constructeur doit chercher à diminuer autant que possible.

En considérant quelles sont les fonctions des diverses pièces de bois qui composent la charpente d'un pont, on reconnaît que quelques-unes ou l'ensemble de quelques-unes supportent tout le poids, tandis que les autres ne font que le lui transmettre, c'est-à-dire viennent chercher leur point d'appui sur ces premières qu'on nomme *cintres* ou *fermes*. C'est donc de la solidité du système de charpente, ainsi nommé, que dépend la durée du pont, et c'est de celui-là que nous avons à nous occuper en premier lieu.

197. Il ressort des considérations sommaires que nous avons exposeés sur la résistance du bois, que leurs fibres sont capables de supporter le plus grand effort quand elles résistent par tension et que, dans l'ordre de priorité, la compression vient ensuite, puis la flexion transversale.

Le système de charpente qui emploiera les bois dans les conditions les plus favorables à la résistance sera donc le meilleur. Ces réflexions, jointes à la connaissance que l'on a du peu d'utilité, pour la résistance, des fibres intermédiaires d'une poutre, conduisent directement à résister à l'effort qui tendrait à rompre transversalement une pièce de bois, au moyen d'un système de charpente triangulaire, tel que celui indiqué (fig. 14). Dans ce système, le poids P, agissant au point C, se décompose en deux pressions, dont l'action se fait sentir suivant les directions CB et CA; ces deux pièces de bois sont donc comprimées et chaque fibre supporte le même effort; la pression suivant la pièce CA, se décompose elle-même au point A, en deux forces, dont l'une verticale, l'autre horizontale. La première se reporte sur le point d'appui situé en A, la deuxième tend à produire une extension sur la pièce horizontale AB. Il en est exactement de même pour la pression agissant suivant CB. Par conséquent, deux des trois pièces du système ABC, sont comprimées et la troisième est tirée longitudinalement et toutes les fibres travaillent également. On applique à la figure 15, dans laquelle les deux côtés, CA et CB, du triangle, ne sont pas égaux, exactement le même raisonnement qu'à la figure 14, seulement la compression supportée par la pièce AC est plus forte que celle que supporte la pièce CB.

198. Il est facile, d'après le raisonnement que nous venons d'appliquer aux figures 14 et 15, de se rendre compte de l'effet des poids qui agissent sur le système de charpente de la figure 16; le poids P, appliqué en C, produit une compression sur les pièces AC et CC'. La première se décompose au point A, ainsi que nous l'avons déjà dit, de manière à

produire une extension sûr la pièce AA'. Si nous supposons maintenant un poids égal appliqué au point C' et la pièce C' A' disposée de la même manière que C A, le poids P' produira sur les pièces C'A' et C'C des compressions égales à celles de P sur C A et CC'. Alors la pièce A A' résistera aux deux extensions, et la pièce C C' aux deux compressions produites sur elles. On fera le même raisonnement pour les autres pièces, et l'on verra que toutes sont comprimées, à l'exception de AA' qui résiste à l'extension. D'après ce que nous avons dit sur la force de résistance des bois, il sera facile de calculer les dimensions à leur donner.

Dans l'application, on met des moises verticales à chacun des points CC', afin d'assurer les assemblages et d'empêcher les changements de forme que les poids additionnels, passant successivement sur chacun des points C C', tendent à produire.

Un système de charpente comme celui de la figure 16, n'exerce pas de poussée latérale contre les piles ou les culées qui le supportent. Elle se trouve détruite par la résistance de la pièce horizontale AA', mais il n'en serait plus de même si l'on supprimait cette pièce, il faudrait alors que chaque pile ou culée fut capable d'une résistance latérale égale à celle de l'extension que supportait AA'.

Pour empêcher les pièces inclinées de plier, on les moise les unes aux autres; ou bien encore, on modifie quelquefois le système, en réunissant en faisceau toutes les contre-fiches, pour en former, dans chaque moitié de la travée, un arbalétrier, fig. 17. Ainsi réunies, les contre-fiches résistent mieux que quand elles sont isolées, mais la nature du système est un peu changée, les moises verticales reportent sur chaque arbalétrier le poids qu'elles ont à soutenir. A la rencontre des moises et des arbalétriers, ces poids se décomposent en deux forces, dont l'une comprime l'arbalétrier comme dans le cas précédent; mais l'autre, qui n'est plus détruite par la pièce CC', tend à le faire fléchir.

199. On a proposé encore d'autres systèmes, afin de diminuer la longueur des bois et de prévenir toute flexion, puisque les bois plient d'autant plus difficilement qu'ils sont plus courts. Ces systèmes consistent à employer plus de deux arbalétriers et à en adopter un nombre tel que les pièces ne puissent plus plier. On évite ainsi, à la vérité, un inconvénient, mais on tombe dans un autre que nous allons signaler.

Remarquons d'abord que quelle que soit la combinaison des pièces d'une construction en charpente, on a toujours pour but de reporter certains efforts sur des points d'appui par le

moyen même des différentes pièces. Or, ces pièces peuvent être combinées de telle manière, les unes par rapport aux autres et eu égard aux efforts exercés sur elles, qu'elles ne tendent à prendre aucun mouvement; en un mot, le système est alors en équilibre sous l'action des forces qui agissent sur ses différentes parties, conformément aux lois de la statique. On nomme cet état *l'équilibre de position*. Pour l'établir, on ne s'occupe point de la force physique de chaque pièce, mais on la considère seulement comme une ligne inflexible, de résistance indéfinie. On conçoit que cette abstraction ne peut exister dans la pratique, il faut ici que chaque pièce ait les dimensions nécessaires pour résister à l'effort qu'elle est destinée à supporter. On règle les dimensions d'après ce qui a déjà été dit sur la résistance des matériaux et sur les considérations plus spéciales que nous présenterons encore à ce sujet. Quand toutes les dimensions sont ainsi réglées, on a alors *l'équilibre de résistance* qui doit être seul pris en considération, lorsque les assemblages des différentes pièces de la construction sont assez forts pour ne permettre aucun mouvement des unes par rapport aux autres, lors même que l'équilibre statique ou de position n'existerait pas.

Considérons maintenant un système de plusieurs arbalétriers; on pourra les établir dans l'équilibre de position si on ne veut avoir égard qu'à la charge de la charpente elle-même et au poids du pavé qu'elle porte; mais le passage des voitures viendra constamment déranger cet équilibre, et comme il n'est pas stable, c'est-à-dire que les arbalétriers ne tendent pas à reprendre leur position lorsqu'ils ont été dérangés, le plus léger dérangement entraînera la chûte du cintre. Ainsi, l'équilibre de position ne peut jamais être complètement satisfait et il ne suffirait pas qu'il le fût. Il est donc absolument nécessaire que les pièces soient assemblées les unes aux autres, et qu'à chaque articulation l'assemblage s'oppose à la variation de leur angle avec une force égale ou supérieure à celle qui tend à le faire varier. Dès lors, on peut considérer tout le système comme ne faisant qu'une seule pièce, et sa résistance doit être évaluée en conséquence. D'après cela, on voit facilement l'inconvénient d'un grand nombre d'arbalétriers, puisque chaque articulation forme, pour ainsi dire, un point de rupture préparé à l'avance.

200. On obtient un système un peu plus solide que celui de plusieurs arbalétriers composés chacun de plusieurs cours de pièces juxta-posées (fig. 18), en disposant chaque cours suivant des polygones dont les angles des uns répondent au milieu des côtés des autres.

Il faut, en effet, pour que ce système puisse céder, non-seulement que l'assemblage de chaque articulation fléchisse, mais encore que chaque arbalétrier (fig. 18) plie et se rompe au milieu de sa longueur. Il en serait ainsi si les assemblages étaient parfaitement exécutés. Cela n'arrive jamais en pratique, aussi ce système fléchit-il un peu, et il laisse encore beaucoup à désirer.

201. Les cintres les plus solides sont ceux que l'on fait avec plusieurs cours de pièces courbes juxta-posées, reliées et serrées par des moises et des boulons, et dont les joints des extrémités ne se rencontrent pas vis-à-vis les uns des autres; car on ne peut faire plier un pareil système sans faire fléchir dans tous leurs points les pièces dont il est formé. L'assemblage des extrémités des pièces n'a plus alors qu'une faible influence; la résistance même à la flexion du bois employé est mise en jeu pour prévenir tout fléchissement du cintre. On reporte sur la courbe tout le poids de la construction, au moyen de moises normales ou verticales. L'effet de ce poids est de comprimer le cintre sans lui faire supporter aucun effort tendant à le rompre transversalement (fig. 20).

Quand on a arrêté la forme des fermes ou cintres, on les relie entre elles par des moises horizontales qui embrassent les verticales destinées à reporter la charge du tablier sur le cintre. Les moises ne doivent jamais être espacées à plus de 5 mètres; dans les grandes arches, le mouvement des voitures et quelquefois même la seule action du vent produisent des oscillations latérales qui fatiguent beaucoup les joints de la charpente. On prévient cet effet en mettant entre les moises horizontales des pièces diagonales qui forment avec elles des figures triangulaires. Le dessin de la passerelle indiquée par les figures 19, 21 *bis* et 23 *bis*, en montre un exemple. On place des contrevents de la même espèce entre les moises verticales pour rendre le tablier et le cintre parfaitement solidaires.

202. La figure 19 fait voir une autre espèce de ferme dont nous n'avons pas encore parlé; elle est composée de madriers placés dans un plan vertical, pliés suivant la courbe voulue et assujettis les uns aux autres par des coins et des boulons en fer. Les madriers qui composent chaque cours sont mis bout à bout, et l'on s'arrange de manière à ce que les joints d'un cours correspondent à des parties pleines des cours latéraux.

203. Les assemblages des arches en charpente ne sont jamais exécutés avec des soins tels qu'il ne se manifeste un

petit tassement analogue à celui des arches en pierres ; la formule suivante donne, d'après les observations faites sur des constructions en sapin, la valeur approximative de ce tassement.

$$t = 0,02 \frac{f}{c}$$

Dans laquelle f est la flèche et c l'ouverture. Pour des constructions en chêne, le tassement est probablement un peu moindre. Dans tous les cas, ce n'est là sa valeur qu'immédiatement après la construction, il augmente avec le temps par l'effet de l'altération des bois.

PLANCHERS ET PARAPETS.

204. Les planchers des ponts sont composés d'abord de pièces de pont *pp* (fig. 2, 3, 4 et 19) placées sur les sommiers, sur les cintres mêmes, ou sur les pièces auxiliaires qui reposent d'un bout sur les cintres ou fermes, et de l'autre sur les culées ou palées. Elles sont légèrement entaillées et chevillées à la rencontre de chaque sommier, et en maintiennent ainsi l'écartement. Les potelets du garde-corps s'assemblent sur les pièces de pont, qui, quelquefois, sont prolongées un peu au-delà, afin de soutenir une contre-fiche qui sert à arcbouter le potelet. Quelquefois les pièces de pont sont doubles, comme dans les dessins indiqués ci-dessus (fig. 2), alors ce ne sont que des madriers un peu plus épais que ceux du reste du plancher. D'autres fois, elles sont simples et elles ont un équarrissage de 20 à 25 centimètres. Dans tous les cas, leur face supérieure affleure le reste du plancher. Les intervalles entre les pièces du pont sont ordinairement de 2 mètres ; on les remplit de madrièrs de 10 à 12 centimètres d'épaisseur sur 20 centimètres de largeur, et d'une longueur telle qu'ils dépassent toujours un peu les faces extrêmes des sommiers ou fermes d'amont et d'aval. Ces madriers sont chevillés sur chaque sommier, soit avec des chevilles en fer barbelées, afin que les vibrations qu'éprouve la charpente ne puissent les faire sortir, soit avec des chevilles en bois.

Au-dessus de ce premier plancher, on en cloue ordinairement un autre formé de planches de 5 centimètres d'épaisseur, qui ne recouvre quelquefois que la voie charretière. Ce faux plancher préserve celui de dessous du frottement des roues et de l'action des pieds des chevaux ; il s'use promptement, mais comme il ne nécessite qu'une faible dépense, on le renouvelle aussi fréquemment que le besoin s'en fait sentir.

205. Quelquefois on met sur les madriers une forme de sable pour recevoir les pavés, ou bien encore on fait un empierrement, mais on a reconnu qu'il en résultait une charge très-considérable, et que l'humidité que le pavé ou l'empierrement entretenaient sur les madriers, tendait à les faire pourrir promptement, ainsi que les poutres sur lesquelles ils étaient portés; on préfère, en conséquence, le premier système.

On peut remarquer que dans l'établissement des planchers, comme ceux que nous venons de décrire, les sommiers sont entièrement recouverts, soit par les pièces de pont, soit par les madriers. La face supérieure des sommiers se trouve ainsi maintenue dans un état permanent d'humidité, ce qui la fait pourrir promptement. On évite cet inconvénient en posant la plate-forme de madriers sur des solives de 25 à 30 centimètres d'équarrissage, placées transversalement, comme les pièces de pont. Les madriers sont alors placés longitudinalement, mais le faux plancher est toujours mis en travers, afin d'empêcher les chevaux de glisser.

206. Les pièces principales du garde-corps sont les potelets. Il y en a autant de chaque côté que de pièces de pont, dans lesquelles ils s'assemblent. Ils sont ensuite maintenus à l'extérieur par une contre-fiche en bois, et à l'intérieur par un boute-roue ou par une console en fer. Lorsque le pont est destiné à recevoir un pavé, on appuie contre le pied intérieur des potelets une pièce de bois régnant sur toute la longueur du pont, et ayant 30 centimètres de hauteur sur 20 d'épaisseur; elle est destinée à maintenir latéralement le sable et le pavé; on la nomme, à cause de cela, *garde-grève*. Tous les potelets sont couronnés par une lisse ou main-courante, assemblée et chevillée, avec chacun d'eux, à tenons et à mortaises.

Au-dessous de cette lisse supérieure, on en met une autre (fig. 2) qu'on nomme intermédiaire et qui partage en deux la hauteur du potelet. Cette lisse intermédiaire est posée de manière que l'une de ses diagonales est verticale et l'autre horizontale. Quelquefois aussi l'intervalle entre la lisse supérieure et le plancher est rempli par des croix de Saint-André qui s'assemblent avec les potelets, mais cette disposition oblige à rapprocher un peu plus ces derniers (fig. 34).

CHAPITRE XII.

Ponts en charpente.

189. Les ponts en charpente se construisent de deux manières : suivant la première, qui est la plus simple, mais qui ne s'applique qu'à de petites ouvertures, le plancher est supporté par plusieurs cours de poutres, posées horizontalement sur les culées et sur les piles, ou sur les palées. Suivant la seconde, le plancher est supporté par un cintre ou système de charpente, dont les points d'appui sont situés un peu au-dessus des hautes eaux.

Nous allons d'abord nous occuper des ponts de la première espèce. Dans ce cas, la *travée*, ou la partie soutenue du pont, n'exerce point de poussée contre la culée ou la palée, mais seulement une pression verticale proportionnelle à son poids et à la charge qu'elle est appelée à supporter. La seule action à laquelle la culée doive résister est donc celle des terres qu'on remblaie derrière et qui tend à la renverser dans la rivière.

Les culées en bois se composent le plus ordinairement d'une file de pieux et palplanches battus au refus et moisés au niveau du lit de la rivière. Chaque pieu s'élève à la hauteur convenable pour supporter les pièces des diverses parties de la construction qu'il est destiné à soutenir. Lorsque cette hauteur est considérable, la poussée des terres tend à rompre le pieu au point où il affleure le sol, du côté de l'eau, ou au moins à le déverser, s'il n'a pas pris beaucoup de fiche. On s'oppose à cet effet au moyen de pieux retenue, AAAA (fig. 5, pl. 2), placés derrière les pieux de culées, à une certaine distance dans les terres. Ces pieux de retenue sont reliés avec ceux des culées par des liens en bois, munis d'un redant à chaque extrémité, ou assujettis par un boulon en fer. (*Voir* fig. 5 et 6.) Pour donner plus de stabilité à ce système de charpente, et prévenir tout changement de forme et de position des pieux et du lien horizontal, on ajoute, ainsi que le fait voir la figure 6, un autre lien incliné, boulonné avec le pieu de culée et le lien horizontal, et simplement assemblé avec celui de retenue, si l'on se figure la manière dont le

mouvement de la culée tend à se faire sous l'action de la poussée des terres, on verra que le point A est repoussé vers la gauche et que la forme triangulaire des assemblages s'oppose à ce mouvement; c'est, du reste, une remarque commune à tous les systèmes de charpente. La forme triangulaire est la seule qui s'oppose efficacement au changement de forme. Pour que ce changement pût avoir lieu, il faudrait que l'un des côtés du triangle se rompît. Il n'en est pas de même pour toute autre figure polygonale, dont les angles peuvent varier, bien que les côtés restent constamment de même longueur. Dans une figure de cette espèce, la force des assemblages est la seule qui s'oppose au changement des angles; généralement les assemblages ne sont pas faits avec assez de soin et de précision pour qu'on puisse compter dessus, et d'ailleurs le seraient-ils, lorsque la charpente est neuve, que le retrait et les altérations qu'éprouve toujours le bois, auraient bientôt modifié, d'une manière très-notable, la résistance sur laquelle on croyait pouvoir compter.

190. L'intervalle entre les pieux n'est rempli par des palplanches verticales que dans la partie enterrée, au-dessus on fait un revêtement en planches horizontales, posées derrière les pieux et destinées seulement à empêcher l'éboulement des terres. Elles n'augmentent point la résistance de la culée, elles ne font que la reporter sur les pieux.

Ces planches de revêtement ne sont jamais assez jointives pour empêcher que les eaux ne délaient les terres placées derrière, aussi est-il bon de mettre des fascinages, des cailloux et du gravier par derrière sur toute la profondeur de l'eau, sinon les terres étant enlevées peu à peu, il se manifeste aux abords du pont des affaissements qui nécessitent de nouveaux remblais et forcent à relever fréquemment le pavé.

Les pieux sont reliés entre eux, dans la partie au-dessus de l'eau, par des moises horizontales boulonnées; elles maintiennent leur écartement et les rendent solidaires, en contribuant à une répartition égale de la force à laquelle ils ont à résister.

Quelquefois on incline les culées en bois, cette disposition diminue le prisme de terre qui produit la poussée, et la charpente est moins fatiguée, mais on est obligé d'allonger les poutres qui forment le tablier. L'inclinaison varie du quart au cinquième, c'est-à-dire que pour 1 mètre de hauteur, on donne 25 ou 20 centimètres de base.

L'équarrissage des pieux est proportionné à la hauteur, il peut varier de 20 à 30 centimètres. Les palplanches ont 5 cen-

bre R donné par la table du parapraghe 72, par le dixième R′ de la valeur portée à cette table, quand on veut déterminer le poids que l'on peut faire supporter, avec sécurité, aux pièces de dimensions données, soumises à la flexion transversale. Comme application des formules nº 71, considérons une poutre rectangulaire de bois de chêne et calculons le poids dont on peut la charger avec sécurité suivant la manière dont elle est soutenue.

Dans toutes les formules qui suivent, l représente la longueur de la pièce, quand elle n'est soutenue que par une extrémité; et $2l$ l'intervalle des appuis. p est la charge uniforme par unité de largueur, charge qui peut n'être que le poids seul de la poutre. En supposant pour le chêne le poids c du mètre cube égal moyennement à 900 kilogrammes, on a : $p = abc$; a est la largueur de la pièce ; b sa hauteur, ou bien encore a représente la dimension de la face perpendiculaire, et b la dimension de la face parallèle à la direction de l'effort qui tend à rompre la pièce en la faisant fléchir.

D'après ces données on pourra suspendre avec sécurité, à l'extrémité d'une poutre encastrée horizontalement à l'autre extrémité (fig. 21, pl. 5), un poids P déterminé par l'égalité :

$$(1)\quad P + \frac{1}{2}abcl = \frac{R'ab^2}{6.l} \text{ ou } P = \frac{100000ab^2 - 450abl^2}{l}$$

En prenant pour le chêne R′ égal moyennement à 600000 k.

Si le poids P est donné, et qu'on veuille déterminer les dimensions, on n'a qu'une équation entre deux inconnues, d'où il suit qu'il faut s'en donner une à volonté et déterminer l'autre par la résolution de l'équation (1), ou bien encore, établir un certain rapport entre les deux dimensions, faire, par exemple, $a = mb$, on a alors :

$$Pl = 100000mb^2 - 450mb^3l^2$$

en faisant $l = 5$; $m = \frac{2}{3}$ et $P = 225$ k., on trouve $b = 0^m.30$ et par suite $a = 0^m.20$.

209. Si, au lieu d'être placé à l'extrémité, le poids P était uniformément réparti sur la longueur ; c'est-à-dire si, en outre de son propre poids, la pièce supportait, par unité de longueur, un poids $\frac{P}{l}$, alors on aurait pour déterminer

le poids P que la pièce peut aussi supporter, l'égalité suivante, en désignant toujours par p son propre poids, $p=abc$:

$$(2)\qquad \left(p+\frac{P}{l}\right)l=\frac{2R'ab^2}{6l}=\frac{200000ab^2}{l}$$

$$P=\frac{200000ab^2-900abl^2}{l}$$

c'est-à-dire que le poids réparti peut être double de celui placé à l'extrémité.

210. Si la pièce est supportée horizontalement à ses deux extrémités (fig. 22, pl. 5), le poids 2 P dont on peut la charger en son milieu, en sus de son poids propre, est donné par l'égalité :

$$(3)\qquad 2P=\frac{2R'ab^2}{6l}-pl=\frac{200000ab^2-900abl^2}{l}$$

Si, au lieu d'être placé au milieu, le poids 2 P était uniformément réparti sur toute la longueur du solide, la charge totale que l'on pourrait ainsi répartir (fig. 22 *bis*, pl. 5) serait donnée par l'égalité :

$$(4)\qquad 2\left(p+\frac{P}{l}\right)l=\frac{4R'ab^2}{6l}=\frac{400000ab^2}{l}$$

ou

$$2P=\frac{400000ab^2-1800abl^2}{l}$$

c'est-à-dire que le poids total, que l'on peut ainsi répartir uniformément, est double de celui que l'on peut placer au milieu.

211. La pièce étant posée sur deux appuis horizontaux, le poids 2 P que l'on peut placer en un point quelconque, éloigné d'une quantité z du point milieu de la poutre, est donné par l'égalité :

$$(5)\qquad pl+2P=\frac{2R'ab^2l}{6(l^2-z^2)}=\frac{200000ab^2l}{l^2-z^2}$$

Ces exemples suffisent pour faire comprendre comment on doit calculer les expressions qui ont été exposées paragraphe 71; nous nous bornerons, pour les autres cas, à indiquer la formule.

212. La pièce étant posée sur deux appuis (fig. 24, pl. 5) et chargée sur une portion de sa longueur $2l'$ dont le point milieu est à la distance z, du milieu de l'intervalle des appuis, le poids $2pl'$ que l'on peut ainsi répartir avec sécurité est :

$$(6) \quad 2pl' = \frac{4R'ab^2l}{12(l^2-z^2)-ll'} = \frac{400.000\,ab^2l}{2(l^2-z^2)-ll'}$$

Quand la portion chargée est égale de part et d'autre du point milieu, on a :

$$(7) \quad 2pl' = \frac{400.000\,ab^2l}{2l^2-ll'}$$

213. La poutre étant encastrée à une extrémité et posée sur un appui à l'autre, le poids 2P que l'on peut placer en un point situé à la distance z de l'encastrement (fig. 25) est donné par l'égalité :

$$(8) \quad 2P = \frac{8R'ab^2l^3}{6z(z^2-6lz+8l^2)} = \frac{800.000.\,ab^2l^2}{z(z^2-6lz+8l^2)}$$

quand $z=l$, c'est-à-dire quand le poids 2P est placé au milieu.

$$(9) \quad 2P = \frac{800.000.\,ab^2}{3l}$$

et la pression sur le support, à l'extrémité non encastrée, est égale à

$$\frac{5}{8}P$$

214. Si la pièce est encastrée aux deux extrémités (fig. 26) le poids que l'on peut placer au milieu est :

$$(10) \quad 2P = \frac{4R'ab^2}{6l} = \frac{400.000\,ab^2}{l}$$

Nous avons déjà fait remarquer que l'encastrement doublait la résistance.

215. La poutre reposant sur trois points d'appui également espacés (fig. 25 *bis*), on peut placer avec sécurité à chaque point milieu entre les appuis, des poids 2P, 2P' dont la somme est donnée par l'égalité :

$$(11) \quad 2P+2P' = \frac{8R'ab^2}{9l} = \frac{1600.000\,ab^2}{3l}$$

Si les poids sont égaux, le poids à placer dans chaque intervalle est donné par l'égalité :

$$(12) \qquad 2P = \frac{800.000\, ab^2}{3l}$$

la pression, dans ce cas, sur le support intermédiaire, est égale à $\frac{22}{32}$ 4 P, et, sur chaque appui extrême $\frac{5}{32}$ 4 P.

Si la poutre était portée sur quatre appuis également espacés et que les poids appliqués à chaque point milieu des intervalles fussent égaux à 2 P, on aurait :

$$(12\ bis) \qquad 2P = \frac{10\, R'\, ab^2}{21\, l}$$

La pression sur les appuis extrêmes serait égale à 0,7 P, et sur les appuis intermédiaires, elle serait égale à 2,3 P.

Toutes les expressions qui précèdent, cotées depuis 1 jusqu'à 12, sont relatives au cas où la section transversale est un rectangle. Si cette section était une de celles indiquées au tableau du paragraphe 74, il suffirait de multiplier le second membre des 12 égalités précédentes par $\frac{6\, G}{R\, ab^2}$ pour passer au cas de la section dont G représente la résistance à la rupture.

Si G se rapporte à une poutre composée, on l'estimera d'après ce qui est dit au nº 247.

216. Le poids P que l'on peut placer avec sécurité sur la pièce verticale AB (fig. 27, pl. 2), encastrée à la partie inférieure, lorsque ce poids est suspendu à l'extrémité de la traverse horizontale R C, ayant une longueur d, est donné par l'égalité :

$$(13) \qquad P = \frac{R'\, A\, G}{G + R\, A\, d}$$

dans laquelle A représente l'aire de la section, G la résistance à la rupture correspondante à cette section, sa valeur est donnée par le tableau du paragraphe 74, enfin R est le poids produisant la rupture par flexion transversale, pour une aire égale à l'unité (R = 10 R').

Pour une poutre composée, on calculerait G ainsi que nous l'avons indiqué au paragraphe 247. Pour une section transversale rectangulaire, l'égalité précédente devient

$$(13\ bis) \qquad P = \frac{R'\, ab^2}{b + 6d} = \frac{600.000\, ab^2}{b + 6d}$$

Si la pièce verticale est donnée par l'égalité :

$$(14) \qquad P = \frac{R' \pi r^3}{r + 4d} = \frac{1884\,956\, r^3}{r + 4d}$$

Si l'effort agissait de bas en haut au lieu d'agir de haut en bas, ainsi que nous venons de le supposer, la pièce serait fléchie dans le sens opposé, mais les égalités (13) et (14) subsisteraient de même.

217. Le poids P que l'on peut placer avec sécurité à l'extrémité supérieure de la pièce prismatique inclinée (fig. 28), dont l'extrémité inférieure est encastrée, est donné par l'égalité :

$$(15) \qquad P = \frac{R' A G}{G \, cos.\, t + A R l \, sin.\, t}$$

A est l'aire de la section, G sa résistance à la rupture, donnée paragraphe 74, R = 10 R'.

Quand cette section devient un rectangle, on a :

$$(15\, bis) \quad P = \frac{R'\, ab^2}{b\, cos.\, t + 6\, l\, sin.\, t} = \frac{600.000\, ab^2}{b\, cos.\, t + 6\, l\, sin.\, t}$$

t est l'angle que fait la direction de l'effort avec l'axe de la pièce ; l la longueur de cette pièce.

218. Quand une pièce inclinée (fig. 29) s'appuie à l'extrémité inférieure contre un plan horizontal le long duquel le glissement est prévenu par un obstacle quelconque, et, à l'extrémité supérieure, contre un plan vertical, et se trouve chargée en un point quelconque de sa longueur d'un poids P ; la pression verticale due au poids P est supportée entièrement par l'appui horizontal, et les pressions horizontales, égales et contraires, par les plans verticaux. Ces pressions sont représentées par l'expression

$$P \frac{d\, tang.\, t}{l},$$

dans laquelle d est la distance A C du point d'application du poids, à l'extrémité inférieure de la pièce, et t l'angle de la direction de l'effort avec celle de la pièce, l sa longueur.

Cette pièce peut donc être considérée comme encastrée au point C, où agit le poids, et sollicitée à son extrémité inférieure par deux efforts :

$$P \text{ et } P \frac{d\, tang.\, t}{l}$$

l'un vertical : P, et l'autre horizontal. A l'extrémité supérieure elle est sollicitée par la force horizontale seule :

$$P \frac{d \, tang. \, t}{l}$$

Ce cas rentre donc dans celui considéré paragraphe 247 ; et, pour avoir la valeur du poids P, il faut remplacer dans l'expression (15), 1° pour ce qui concerne la portion inférieure,

$$P \text{ par } P \sqrt{1 + \frac{d^2 \, tang.^2 \, t}{l^2}} = P' \text{ résultante appliquée en A;}$$

$$sin. \, t \text{ par } sin. \, t \left(1 - \frac{d}{l}\right);$$

$$cos. \, t \text{ par } cos. \, t \left(1 + \frac{d \, tang.^2 \, t}{l}\right);$$

d'où l'on déduit

$$(16) \; P' = \frac{R' A G}{G \, cos. \, t \left(1 + \frac{d \, tang.^2 \, t}{l}\right) + A R \, l \, sin. \, t \left(1 - \frac{d}{l}\right)}$$

et si la section est un rectangle, cette égalité devient

$$(16 \, bis) \; P' = \frac{R' \, ab^2}{6 l \, sin. \, t \left(1 - \frac{d}{l}\right) + b \, cos. \, t \left(1 + \frac{d \, tang.^2 \, t}{l}\right)}$$

2° Pour la portion supérieure C B

$$P \text{ par } P \frac{d \, tang. \, t}{l} = P''$$

$$sin. \, t \text{ par } \frac{d \, sin. \, t}{l}$$

$$cos. \, t \text{ par } \frac{d \, sin. \, t \, tang. \, t}{l}.$$

d'où l'on déduit :

$$(17) \; P'' = \frac{R' A G \, l}{G \, d \, sin. \, t \, tang. \, t + A R \, l d \, sin. \, t}$$

et si la section est un rectangle, on a

$$(17 \, bis) \; P'' = \frac{R' \, ab^2 l}{bd \, sin. \, t \, tang. \, t + 6 \, 6 \, l d \, sin. \, t}$$

Pour avoir le poids P que l'on peut placer avec sécurité au point C, on prendra la plus petite des valeurs données par les égalités (16) et (17), après y avoir remplacé P' et P'' en fonction de P.

219. Les expressions qui précèdent donnent le moyen de calculer le poids dont on peut charger une pièce droite, suivant la manière dont elle est soutenue. Ou bien de calculer les dimensions qu'elle doit avoir pour soutenir avec sécurité un poids déterminé. Il n'y a qu'à remplacer R', par sa valeur pour chaque espèce de matériaux.

220. Lorsqu'il ne s'agit plus de pièces séparées, mais assujetties les unes aux autres et concourant toutes, sous des inclinaisons diverses, à supporter un poids déterminé, il faut, pour appliquer les principes qui viennent d'être posés, commencer par estimer, d'après les lois de la statique, les pressions, les tensions, et les efforts transversaux que chaque pièce ou portion de pièce est destinée à supporter.

Nous allons considérer quelques-uns des systèmes les plus simples de charpente, composés de pièces droites assujetties les unes aux autres. Ces exemples serviront de guide pour les constructions plus compliquées.

221. Un poids P suspendu au point d'angle de deux pièces inclinées (fig. 15), s'appuyant l'une contre l'autre au point C, et posées en A et B sur des appuis le long desquels elles ne peuvent glisser, donne lieu à des pressions, dans la direction des pièces, AC, BC, qui sont respectivement représentées par :

$$(18) \qquad P\frac{\sin.q}{\sin.(p+q)} \text{ et } P\frac{\sin.p}{\sin.(p+q)}$$

dans lesquels p et q sont respectivement les angles BCP et ACP.

La pression horizontale qui a lieu au point C est :

$$P\frac{\sin.p\sin.q}{\sin.(p+q)}$$

Cette même force tend à faire glisser les points A et B, et représente la pression contre les points d'appui.

Quand on a $p = q$, les valeurs (18) deviennent égales à $\frac{P}{2\cos.p}$ et la pression horizontale à $\frac{1}{2}$ P $tang.\,p$.

Les pièces inclinées sont chargées dans le sens de leur longueur ; si cette dimension ne dépasse pas vingt fois l'é-

paisseur a, on calculera le poids P qu'elles peuvent supporter, d'après celui qui produirait l'écrasement. Si la longueur dépasse vingt fois l'épaisseur, on aura l'égalité :

$$(19)\qquad P\frac{sin.\,p}{sin.\,(p+q)}\ \text{ou}\ \frac{P\,sin.\,q}{sin.\,(p+q)}=0{,}823E\,\frac{ba^3}{l^2}$$

Pour déterminer le poids P, il faudra prendre la plus petite valeur de P pour celle qui peut être supportée avec sécurité. l représente la longueur de la pièce considérée.

Si au lieu de butter les points A et B, on met une traverse horizontale à une certaine hauteur (fig. 14), on fera le calcul des parties CE, CD comme ci-dessus ; la traverse EE supportera une tension longitudinale égale à $\frac{1}{2}P\,tang.\,p$; et les parties inférieures AE, BD, seront dans le même cas que si elles étaient encastrées en E et D et sollicitées à fléchir par la force verticale $\frac{1}{2}P$ appliquée en A et B et agissant de bas en haut. L'expression 15 sera donc applicable et l'on aura :

$$(20)\qquad \frac{1}{2}P=\frac{R'AG}{G\,cos.\,p+AR\,l\,sin.\,p}$$

l désigne la longueur AE ou BD

Si, en outre de la traverse ED, on mettait une sole AB, la pression horizontale serait supportée par l'une ou l'autre de ces pièces ; mais un point de plus des pièces AC, BD se trouvant rendu fixe, leur résistance serait augmentée, si leur longueur pouvait permettre la flexion ; ainsi elle serait quadruplée, si le point E était au milieu de AC ; elle serait augmentée dans le rapport de 1 à $\frac{9}{4}$ s'il était au tiers, etc.

222. Un poids P suspendu au milieu d'une pièce horizontale reposant sur deux supports inclinés (fig. 36), produit dans la direction des supports, qui, pour l'équilibre, doivent se trouver dans le même plan et faire avec la verticale des angles p égaux, une pression longitudinale égale à

$$(21)\qquad \frac{P}{2\,cos.\,p}$$

et la force qui tend à produire le glissement des points A et A' est :

$$\frac{1}{2}P\,tang.\,p$$

chacune des moitiés de la pièce BB' est dans le même état que si le point C était encastré et qu'une force égale à celle donnée par l'expression (21) fût appliquée dans les directions AC, A'B' à chaque extrémité. L'expression 15 peut donc encore être appliquée, et le poids P que l'on pourra placer avec sécurité sera donné par l'égalité :

$$(22) \qquad P = \frac{2 R' A G}{G \, tang. p + A R l}$$

A représente l'aire de la section, l la demi-longueur BB'. Si la section est rectangulaire :

$$P = \frac{2 R' ab^2}{b \, tang. p + A R l}$$

b est la hauteur, a l'épaisseur de la pièce.

Les remarques sur les pièces inclinées de l'appareil précédent s'appliquent à celles-ci.

223. Considérons l'appareil représenté (fig. 37), destiné à supporter un poids P à l'extrémité de la pièce horizontale BC, consolidée par la contre-fiche AD. Les points A et B sont supposés fixes, les pièces qui y aboutissent ne peuvent les quitter, mais elles peuvent tourner autour de ces points comme centres.

D'abord le poids P produit une pression verticale, dirigée de bas en haut, au point P, représentée par

$$P \frac{l'}{l}$$

$l' =$ DC, $l =$ BD. Le point D aura à supporter une pression égale à cette dernière augmentée du poids P ou

$$P \left(\frac{l + l'}{l} \right)$$

Cette pression est entièrement supportée par la contre-fiche AD, et en produit une autre, dans la direction AD, égale

$$(23) \qquad P \frac{l + l'}{l \cos. p}$$

et de plus une tension sur BD égale à

$$(24) \qquad P \frac{l + l'}{l} \, tang. p$$

on s'assurera que la pièce AD peut supporter la pression (23), d'après ce qui a déjà été dit. Quant à la pièce BC, l'expression suivante donne le poids dont on peut la charger avec sécurité :

$$(25) \qquad P = \frac{R'AGl}{G(l+l')\,tang.\,p + ARll'}$$

et si la section est un rectangle

$$P = \frac{R'ab^2l}{b(l+l')\,tang.\,p + 6ll'}$$

224. Quand la pièce horizontale BC (fig. 38) est supportée par une autre pièce verticale, encastrée à son extrémité inférieure A, et repose sur une contre-fiche DE, le poids P étant suspendu au point C; l'état des pièces BC et DE est le même que dans le cas précédent. La portion verticale EA est comprimée par le poids P, la portion BE est soumise à une force d'extension représentée par

$$P\frac{l'}{l}$$

l et l' représentent BD, DC.

La portion EA se trouvant comprimée par le poids P, agissant à la distance $l+l'$, l'expression (13) est applicable et l'on aura :

$$(26) \qquad P = \frac{R'AG}{G + RA(l+l')}$$

pour une section rectangulaire,

$$P = \frac{Rab^2}{b + 6(l+l')}$$

et pour la portion BE qui est soumise à l'extension produite par la forc $P\,\frac{l'}{l}$ agissant à la même distance, on aura :

$$(27) \qquad P = \frac{R'AGl}{Gl' + AR(l+l')\,l}$$

pour une section rectangulaire,

$$P = \frac{R'ab^2l}{bl' + 6(l+l')\,l}$$

225. Considérons actuellement le même système, mais supposons que la pièce droite, au lieu d'être encastrée au pied (fig. 39), soit arc-boutée par l'une des contre-fiches AF, AF', faisant un angle p avec la pièce verticale.

Toute la partie au-dessus du point A de ce système de charpente, sera exactement dans le même état que précédemment. L'état de la portion au-dessous du point A dépend de la position du pied F de la contre-fiche.

Si la verticale passant par le point d'attache du poids tombe entre les poids A et F', le pied de la pièce verticale tend à tourner autour du point A', et, pour que ce mouvement ne puisse avoir lieu, la contre-fiche AF doit opposer une résistance, dans la direction FA qui sera représentée par :

$$(28) \qquad P\frac{l+l'}{c \sin. p}$$

c désignant la distance AA', et les autres lettres ayant la même signification que dans ce dernier cas.

Cette résistance de la contre-fiche équivaut à une force horizontale représentée par :

$$P\frac{l+l'}{c}$$

et à une force verticale agissant de bas en haut, représentée par :

$$(29) \qquad P\frac{l+l'}{c \operatorname{tang}. p}$$

la force (28) comprime donc la contre-fiche ; tandis que la partie AA' se trouve seulement comprimée par le poids P diminué de la quantité représentée par (1), ou par la force

$$(30) \qquad P\left(1-\frac{l+l'}{c \operatorname{tang}. p}\right)$$

Quand la verticale, passant par le point d'attache du poids, tombe en dehors du point F, alors tout le système est sollicité à tourner autour de ce point. Dans ce cas, la contre-fiche est encore comprimée par une force égale à (28), mais la portion AA', est soumise à l'extension d'une force verticale égale à

$$(31) \qquad P\left(\frac{l+l'}{c \operatorname{tang}. p}-1\right)$$

et pour que ce système ne soit pas renversé, il faut que le point A' soit fixe.

Le système représenté par la figure 40 est formé d'une pièce horizontale, portant un poids P en son point milieu, et reposant par ses extrémités sur deux points fixes. Elle est en outre consolidée par deux contre-fiches assemblées avec elle, et appuyées par leur extrémité inférieure contre les points fixes en A et A'.

Le poids P produit une pression sur les quatre points du support, il tend à faire plier la pièce horizontale en même temps qu'il comprime les contre-fiches. Si l'on ne veut avoir, dans ce cas, qu'une limite au-dessus de laquelle le poids qui produirait la rupture, se trouve nécessairement, et non le poids lui-même, on distinguera dans l'appareil proposé deux systèmes, dont chacun supporterait seul le poids P. D'abord la poutre horizontale seule, sans contre-fiches ; puis les deux contre-fiches et la portion intermédiaire DD' de la pièce horizontale. Comme chacun de ces systèmes, considéré seul, est moins résistant que l'appareil entier, il est évdient que si l'un quelconque a des dimensions assez fortes pour porter le poids P, il en sera de même, à plus forte raison, de l'appareil entier. Nous avons déjà vu, au chapitre de la force des matériaux, comment on estime les dimensions de la pièce BB'. Quant au système ADD'A', les expressions (22) ci-dessus donneront le moyen d'en calculer les dimensions.

Quand l'appareil se compose de deux pièces droites encastrées à leur pied (fig. 41), d'une pièce horizontale reposant sur les deux autres, et que le tout est consolidé par des contre-fiches, assemblées avec les pièces verticales et horizontales, on ne peut assimiler ce système à celui que nous venons de considérer.

Pour que la pièce horizontale ait une force suffisante, il faut qu'elle puisse supporter, sans le soutien des contre-fiches, le point P suspendu en son point milieu, et chacune des pièces droites doit en outre pouvoir résister à la pression verticale $\frac{1}{2}$ P. Quant au système AEDD'E'A', les contre-fiches doivent d'abord être assez fortes pour supporter la pression.

$$\frac{P}{2\,cos.\,p},$$

agissant dans le sens de leur longueur, laquelle équivaut à deux forces $\frac{1}{2}$ P. et $\frac{1}{2}$ P. *tang. p* verticale et horizontale appliquées l'une et l'autre au point E de la pièce verticale.

La force verticale est transmise au point A en comprimant la partie E A. La force horizontale se décompose en deux autres : l'une appliquée au point B, et représentée par

$$(32) \qquad \frac{P c' tang. p}{2(h+h')}$$

dans laquelle h et h' sont respectivement les distances A E et E B.

La force (32) produit d'abord une extension sur la portion B D de la pièce horizontale; et, en second lieu, elle tend à faire plier la pièce verticale au point E. Cette pièce peut donc être considérée comme fixée en ce point et soumise à une force verticale au point A, et à une force horizontale au point B, qui est donnée par l'expression (32). Dans ces conditions on aura entre le poids P et les dimensions de la pièce verticale, la relation

$$(33) \qquad P = \frac{2 R' A G (h+h')}{G(h+h') + A R h h' tang. p}$$

et pour une section rectangulaire

$$P = \frac{2R' a b^2 (h+h')}{b(h+h') + 6 h h' tang. p}.$$

226. Dans les ponts en charpente, on doit avoir égard non-seulement aux surcharges qui viennent occuper successivement tous les points du tablier, mais encore à la charge permanente de la construction elle-même et aux surcharges qui peuvent être uniformément réparties sur le tablier. Considérons une ferme composée d'une poutre posée sur les culées aux points BB' (fig. 42 *bis*) et renforcées par des contre-fiches AD, A' D', s'arc-boutant contre les points fixes A, A', mais pouvant tourner autour de ces points, et, par l'extrémité supérieure, s'assemblant avec la poutre aux points D, D'. Comme les points de jonction affaiblissent la poutre, nous supposerons qu'elle est formée de trois pièces se réunissant bout à bout aux points D, D'.

Cela posé, admettons d'abord que les surcharges sont distribuées uniformément; soit p la charge correspondante à l'unité de longueur.

l, l' les distances CD, BD.

p l'angle BAD.

La force verticale agissant en D sera:

$$p\left(l + \frac{1}{2} l'\right)$$

Cette pression se décompose en deux autres : l'une égale à

$$\frac{p\,(l+\frac{1}{2}\,l')}{cos.\,p}$$

agissant dans le sens de la contre-fiche DA ; l'autre égale à

$$p\,(l+\frac{1}{2}\,l')\,tang.\,p$$

agissatut dans le sens de D-D'.

Nous avons déjà appris à régler les dimensions des pièces chargées dans le sens de leur longueur (n° 240).

Quant à la pièce DD', comprimée dans le sens de sa longueur, chargée uniformément et supportée aux deux extrémités, on aura très-approximativement, entre la charge et les dimensions de cette pièce, la relation suivante :

$$(34) \qquad R' = \frac{p\,(l+\frac{1}{2}\,l')\,tang.\,p.}{A} + \frac{Rpl'^2}{2G}$$

dans laquelle A représente l'aire de la poutre. Si la section en est rectangulaire

$$R' = \frac{p}{ab}\left\{(l+\frac{1}{2}\,l')\,tang.\,p + \frac{3l'^2}{b}\right)\right\}$$

227. Supposons maintenant une surcharge accidentelle P, en outre de la charge répartie uniformément.

1° Si le poids est placé sur un point de BD, pièce soutenue à deux extrémités, nous avons appris, n° 231, à en calculer l'effet. Dans ce cas il produira une nouvelle surcharge verticale sur le point D, qu'il sera facile d'évaluer et d'introduire dans le calcul des dimensions de la contre-fiche, et de la partie DD' tel qu'il est indiqué pour cette dernière par la formule (34). Si par exemple le poids était placé en D, il faudra remplacer $p\,(l+\frac{1}{2}\,l')\,tang.\,p$ par $\left(P+p\,(l+\frac{1}{2}\,l'\right)tang.\,p$ dans cette formule; mais il est à remarquer de plus que la pression longitudinale suivant DD' étant égale à $\left(P+p\,(l+\frac{1}{2}\,l'\right)\,tang.\,p$, tandis qu'elle reste égale à p $\left(l+\frac{1}{2}\,l'\right)\,tang.\,p$ dans le sens D'D, la portion D'D' sup-

porte une pression longitudinale égale P*tang. p*, et dès lors les dimensions doivent en être réglées par la formule (34).

2° Quand le poids est placé sur la partie D D′, par exemple au point milieu C, l'effort vertical aux points D, D′ est augmenté de 1/2 P, et les dimensions de D D′ doivent être réglées par la relation :

$$(35)\quad R' = \frac{P + p(2l + l')\,tang.p}{2A} + \frac{R(P + pl)\,l}{2G}$$

si la section est rectangulaire, cette équation devient :

$$R' = \frac{P + p(2l + l')\,tang.p}{2ab} + \frac{3(P + pl)\,l}{ab^2}$$

228. Lorsque sous la partie D D′, on emploie une sous-poutre soutenue par les deux contre-fiches, et liée fortement avec la poutre D D′ pour la consolider, alors la pression longitudinale se reporte entièrement sur cette sous-poutre : A doit en représenter l'aire dans les équations 34 et 35, et G sera calculé pour les deux pièces qui composent D D′, comme il est indiqué au n° 80 pour les poutres composées, d'après le mode de liaison de ces deux pièces.

229. Quand l'extrémité supérieure des contre-fiches (fig. 42 *ter*), soutient l'extrémité d'une sous-poutre qui est fixée à la culée ou plutôt qui se prolonge sous la travée suivante où elle est maintenue de même, alors cette sous-poutre éprouve une tension, et la poutre n'éprouve plus de compression dans sa partie intermédiaire. Si nous supposons dans ce cas les sous-poutres, de même que les poutres, composées de différentes parties, ne pouvant céder à l'extension, mais fléchissant librement aux points D, D_1 D_2 où viennent aboutir les contre-fiches, on évaluera comme au n° 245 les pressions longitudinales sur les contre-fiches, et les tensions des sous-poutres, qui alors se trouvent tendues longitudinalement et chargées de poids uniformément répartis *p*, pourront supporter la charge déduite de la relation (34), dans laquelle A exprimera l'aire de la section de la sous-poutre, *l′* sa longueur, *l* la demi-ouverture de la travée diminuée de *l′*.

Si l'on suppose maintenant une surcharge P placée au milieu de la sous-poutre considérée, la relation entre les dimensions et la charge sera donnée par l'équation (35).

230. Les pressions ou tensions longitudinales que font naître les contre-fiches se reportent sur les culées ou palées à l'extrémité inférieure de ces contre-fiches et tendent à les renverser, les efforts verticaux se reportent aussi sur les

culées, partie à l'extrémité inférieure des contre-fiches, partie sur le haut des culées, et tendent à leur donner de la stabilité; les culées sont donc sollicitées à se renverser autour de l'axe sur lequel elles peuvent tourner, par la différence de ces forces. Il ne s'agit en tout cela que d'une décomposition de forces qui ne présente aucune difficulté. Lorsque les sous-poutres sont attachées aux culées, ces dernières tendent à être renversées en dedans.

231. Lorsqu'au lieu d'employer les pièces dont la figure naturelle est rectiligne, on les fléchit, et on place les extrémités entre des obstacles qui ne peuvent être écartés (fig. 30), on obtient une résistance plus grande à l'action d'un poids 2 P placé au sommet de la courbe. Si au lieu de tourner la convexité vers le haut, comme l'indique la figure 30, on la tournait au contraire vers le bas, on aurait une résistance moindre.

Les pièces ainsi fléchies par force ne sont guère employées, et la recherche de leur résistance ne peut offrir un grand intérêt, les résultats généraux ci-dessus énoncés sont suffisants.

232. Considérons maintenant la pièce dont la figure naturelle est courbe, telles que les arcs en bois ou en fer employés à la construction des ponts.

Les efforts auxquels sont soumises les pièces, peuvent être distribués de telle sorte que la pièce se trouve simplement comprimée ou étendue; ou bien les efforts peuvent être distribués de manière à tendre à produire la flexion et la rupture en un point plutôt qu'en un autre.

Lorsque la pièce est simplement comprimée ou étendue, on dit qu'elle est tracée suivant la *courbe d'équilibre*; courbe qui dépend évidemment de la distribution de la charge et de la direction des poids partiels qui la composent.

233. Le calcul apprend que, lorsque les forces appliquées à la pièce sont partout égales par unité de longueur et de plus normales à la courbe, cette courbe, pour être d'équilibre, doit être un arc de cercle.

Quand les forces appliquées à la pièce sont toutes verticales et de plus égales à p par unité de longueur comptée sur la corde horizontale AB (fig. 30), la courbe d'équilibre est une parabole dont l'équation rapportée au sommet C, l'axe des x étant horizontal, et celui des y vertical, est :

$$(18) \qquad y = \frac{f}{l^2} x^2$$

f représente la flèche au sommet C; l la demi-corde.

La pression verticale supportée par chaque point d'appui est :

$$(19) \qquad pl$$

et la pression horizontale Q supportée par les mêmes points est :

$$(20) \qquad Q = \frac{pl^2}{2f}$$

par suite la pression totale, dirigée suivant la tangente à la courbe aux points A et B, est égale à

$$(21) \qquad \frac{pl}{2f}\sqrt{l^2 + 4f^2}$$

On a la direction de cette tangente en joignant les points A et B, à un point O qui serait situé sur la verticale passant par le point C et à une distance f au-dessus de ce point.

Enfin, la pression totale qui comprime la section de la pièce située à la distance x du sommet, est :

$$(22) \qquad T = \frac{p}{2f}\sqrt{l^4 + 4f^2x^2}$$

Cette pression T atteint son maximum aux extrémités de l'arc, c'est-à-dire aux points A et B (fig. 30), où elle est égale à celle donnée par l'expression (21).

Dans la pratique, les points A et B de support de l'arche doivent être suffisamment solides pour résister aux pressions représentées par pl et Q; quant à la pièce courbe formant l'arche, on peut considérer la pression T exercée sur une section transversale comme uniformément répartie sur l'aire de cette section, alors la pression sur l'unité de surface sera :

$$\frac{T}{ab}$$

ab représentant l'aire d'une section; si l'on veut que cette compression ne dépasse pas celle fixée pour avoir toute la sécurité désirable, et que nous avons désignée par R', on établira l'égalité

$$R' = \frac{T}{ab}$$

ou, en remplaçant T par la valeur (22) :

(23) $$p = \frac{2R' a b f}{\sqrt{l^4 + 4f^2 x^2}}$$

ou bien encore, en mettant la valeur de x qui rend T un maximum, l'expression

(23 *bis*) $$pl = \frac{2R' ab f}{\sqrt{l^2 + 4f^2}}$$

donnera le poids 2 pl réparti uniformément, que peut supporter une pièce courbe à section rectangulaire, ab, ou encore les dimensions qu'il faut donner à cette pièce pour la rendre capable de supporter un poids déterminé.

Lorsque la pièce n'est que comprimée et qu'il n'y a nulle tendance à la flexion, au lieu de prendre pour limite de pression le poids R' qui se rapporte à la rupture produite par la flexion, on pourrait prendre la limite qui se rapporte à l'écrasement ; mais le cas où un arc est toujours, et à tout instant, chargé uniformément, est fort rare, et dans les applications il y a presque toujours tendance à la flexion.

Pour toute autre section transversale que le rectangle, on remplacerait ab par l'aire A de la nouvelle section, car on peut supposer que la pression se répartit uniformément sur toute l'aire ; on en agirait de même pour une poutre courbe composée.

234. Si, indépendamment d'un charge 2 pl, répartie uniformément sur l'intervalle A B (fig. 30), un poids 2 P était placé au sommet C de la courbe,

La pression verticale sur chaque point d'appui serait :

$$pl + P$$

et la pression horizontale sur chacun des mêmes points :

(24) $$Q = \frac{pl^2}{2f} + P\left(\frac{25}{32} \cdot \frac{l}{f} - \frac{f}{28\,l}\right)$$

La pression longitudinale serait pour la section située à une distance x du sommet

(25) $$T = \frac{p}{2f}(l^4 + 4f^2 x^2)^{\frac{1}{2}} + P\left(\frac{25}{32} \cdot \frac{l}{f} - \frac{f}{28\,l} + \frac{2fx}{l^2} - \frac{25}{16} \cdot \frac{fx^2}{l^3}\right)$$

ou très-approximativement, quand le rapport de $\frac{f}{l^2}$ est petit,

(26) $$T = \frac{pl^2}{2f} + \frac{25}{32} P \frac{l}{f}$$

235. Dans le paragraphe 233 la courbe parabolique se trouvant être précisément la courbe d'équilibre, la pièce n'éprouvait pas d'autre compression que celle désignée par T, et nous avons pu déterminer soit le poids pl, soit les dimensions de la pièce par la relation (25); mais lorsque la figure de la pièce n'est pas celle qui, eu égard à la distribution de la charge, convient à l'équilibre, comme dans le paragraphe 242, qui diffère du cas précédent paragraphe 235, en ce que nous avons ajouté le poids 2 P au sommet de la courbe parabolique, alors cette pièce tend à fléchir sous l'action des poids dont elle est chargée; certaines fibres sont tendues, d'autres comprimées par suite de cette flexion, et cet effet est entièrement indépendant de celui produit par la pression T donnée par l'égalité (26).

En vertu de la pression T les fibres sont d'abord comprimées, dans toute l'étendue de la section, d'une fraction de leur longueur, égale à :

$$\frac{T}{E}$$

pour l'unité d'aire, et à $\frac{T}{Eab}$ pour une aire de section égale à ab.

Il faut ajouter à cet effet celui dû à la flexion produite par le poids 2 P suspendu au sommet.

Le calcul indique que l'accourcissement dû à la flexion produite par le poids est égale à

$$0.607 \frac{Pl}{Eab^2}$$

La compression ou le plus grand accourcissement des fibres les plus comprimées sera donc dans ce cas

$$\frac{T}{Eab} + \frac{0.607\,Pl}{Eab^2}$$

Si l'on veut que cet accourcissement ne soit pas plus grand que celui que produirait le poids R' sur l'unité superficielle, et qui est exprimé par $\frac{R'}{E}$, on n'a qu'à poser l'égalité :

$$(27) \qquad \frac{R'}{E} = \frac{T}{Eab} + 0.607\,\frac{Pl}{Eab^2}$$

Les expressions 25 ou 26 donneront la valeur de T; en

substituant on aura soit le poids total $2P + 2pl$, soit les dimensions.

Les sections transversales de la courbe dans lesquelles a lieu la plus grande flexion, sont situées symétriquement de chaque côté de l'axe et à une distance horizontale du sommet égale à $0,64\ l$.

Pour toute autre section transversale que le rectangle, on aurait :

$$(27\ bis)\qquad \frac{R'}{E} = \frac{T}{EA} + \frac{81}{800} - \frac{PlR}{GE}$$

A étant l'aire de la section, G sa résistance à la rupture, $R = 19\,R'$.

Pour une pièce courbe composée, A représentera l'aire de la section et on mettra à la place de G, la résistance qui se rapporte à cette section.

236. Supposons maintenant qu'au lieu d'être placé au sommet, le poids $2P$ soit suspendu au point N, (fig. 20), situé à une distance c du sommet.

Dans ce cas les pressions verticales sur les points d'appui M et M' sont respectivement égales à

$$(28)\qquad pl + \frac{P(l+c)}{l} \text{ et } pl + \frac{P(l-c}{l}$$

La pression horizontale sur chacun de ces points est égale, elle est représentée par

$$(29)\qquad Q = \frac{pl^2}{2f} + \frac{5}{32}P\frac{5l^4 - 6l^2c^2 + c^4}{l^3f}$$

Enfin la pression que supporte une section de la portion de courbe NM, située à une distance horizontale x du point N de suspension, sera donnée par

$$(30)\ T = \frac{pl^2}{2f} + P\frac{2f(l+c)(c+x)}{l^2} + \frac{5}{32}P\frac{5l^5 - 6l^3c^2 + lc^4}{l^4f}$$

pour la portion de la courbe NM', la pression T serait donnée par l'expression (30) en y changeant le signe de c.

Dans cette position, de même que lorsqu'il est placé au sommet, le poids $2P$ produit une flexion et par suite une compression de certaines fibres, qui s'ajoute à celle déjà représentée par T ci-dessus. Cette action du poids varie d'intensité lorsqu'on change le point de suspension ; elle est la plus grande possible lorsque le poids est placé à une dis-

tance du sommet à peu-près égale aux deux cinquièmes de la demi-ouverture, ou à 0, 4 l. Alors le maximum de la compression due à la flexion produite par le poids a lieu dans une section transversale qui, pour la portion de courbe, à droite du point N, vers NM, se trouverait à la distance horizontale du point N donnée par l'expression

$$x = \frac{16\,(l+c)\,l^4}{5\,(5l^4 - 6l^2c^2 + c^4)} - c$$

et pour la portion de courbe à gauche du point N, vers N M', cette section se trouverait à une distance horizontale du point N, donnée aussi par l'expression précédente, mais en y changeant le signe de c, c'est-à-dire que cette distance serait :

$$x' = \frac{16\,(l-c)\,l^4}{5\,(5l^4 - 6l^2c^2 + c^4)} + c$$

Si l'on calcule x en faisant, ainsi que nous l'avons dit, $c=0,4\,l$, on trouve $x=0,716$ environ, ce qui annonce que la section transversale où devrait avoir lieu la plus grande compression est à une distance du sommet égale $(0,40 + 0,71)\,l$, c'est-à-dire à droite du point d'appui M, c, d'où il suit que la section où a lieu la plus grande flexion ne se trouve pas du même côté du sommet que le point de suspension.

Si l'on calcule x' on trouve $x=0,\,872\,l$, ce qui apprend que la section cherchée est à gauche du point N à une distance $0,872\,l$ de ce point, ou à $0.472\,l$ du sommet.

L'accourcissement des fibres, dans cette section, est à très-peu près représentée par :

$$1,062\frac{P\,l}{E\,a\,b^2}$$

pour une section transversale rectangulaire.

Cette expression, comparée à celle que nous avons trouvée pour le cas où le poids est placé au sommet, fait voir que, lorsqu'au contraire le point de suspension est à une distance égale à $0,4\,l$ du sommet, la pièce est plus fortement sollicitée à fléchir dans le rapport de 7 à 4.

La compression totale des fibres les plus comprimées sera, dans ce cas, en faisant le même raisonnement qu'au § 243 :

$$\frac{T}{E\,a\,b} + 1,062\,\frac{P}{E\,a\,b^2}$$

et, pour que cette compression ne dépasse pas la limite $\frac{R'}{E}$, on posera :

$$(31) \qquad \frac{R'}{E} = \frac{T}{Eab} + 1,062 \frac{Pl}{Eab^2}$$

Dans cette expression, on remplacera T par la valeur n° 30, après y avoir mis — 0,4 l à la place de c, et $x = 0,872\,l$ à la place de x, ce qui donne :

$$(32)\ R' = \frac{pl^2}{2fab} + \frac{P}{ab}\left(\frac{0,564f}{l} + 0,635\frac{l}{f}\right) + \frac{1,062Pl}{ab^2}$$

pour la relation entre les poids pl, 2P et les dimensions de la pièce.

Si la section transversale était une de celles indiquées au tableau du n° 74, on aurait :

$$(31\ bis.) \qquad \frac{R'}{E} = \frac{T}{EA} + 0,177\frac{Pl}{E}\cdot\frac{R}{G}$$

A est l'aire de la section, G sa résistance à la rupture.

Lorsque les arcs sont formés de plusieurs cours de pièces courbes en bois, on admet que la pression longitudinale T est également répartie sur la somme des aires des sections de chaque cours. A, dans l'expression qui précède, représente alors cette somme.

Il en serait de même pour un arc double formé de deux cours espacés et maintenus par des croix de Saint-André, dans le système indiqué fig. 35.

Quant à la valeur de G, on la calculera, dans les différents cas, d'après les observations faites au n° 238 et suivants.

237. Nous avons indiqué, dans les paragraphes précédents, comment on calcule le poids dont on peut charger avec sécurité une pièce prismatique droite ou courbe, soutenue de diverses manières ; dans un système de charpente, les pièces peuvent affecter diverses figures, et ces pièces sont de plus assujetties entre elles, nous avons donc à nous occuper à présent de la figure la plus convenable à donner aux pièces dans les constructions pour qu'elles résistent plus efficacement aux efforts qui tendent à les rompre, et de la résistance des systèmes de charpente formées de plusieurs pièces assujetties entre elles.

238. 1° *De la section transversale*. Les expressions de la résistance à la rupture des diverses sections transversales, considérées paragraphe 74, font voir qu'il est possible d'aug-

menter la résistance d'une pièce sans changer le cube de matière employée. Ainsi, par exemple, la section rectangulaire pleine comparée à la section d'un tuyau rectangulaire (fig. 42), ou à celle d'un double T (fig. 43), fait voir que si l'on veut qu'une poutre pleine ait même résistance : $\frac{R\,ab^2 - a'b'^3}{6\,b'}$, voir § 74, qu'un tuyau, et même aire de section : $ab - a'b'$, il faut lui donner une largeur égale à $\frac{(ab - a'b')^2\,b}{(ab - a'b')\,b'}$, et une hauteur égale à $\frac{ab^2 - a'b'^3}{(ab - a'b')\,b}$, d'où il suit une stabilité beaucoup moindre dans le sens horizontal ; ou bien encore, en supposant, dans le tuyau rectangulaire $b' = \frac{b}{\sqrt{2}}$ et $a' = \frac{a}{\sqrt{2}}$ la résistance est représentée par

$$R\,\frac{ab^2}{6}\left(1 - \frac{1}{4}\right),$$

celle de la poutre pleine serait $R\,\frac{ab^2}{6}$; or, on a diminué la moitié du cube, $a'b' = \frac{ab}{2}$, dans le premier cas, et la résistance ne se trouve diminuée que de 1/4.

Il ne faut pas confondre la résistance à la rupture avec la résistance à la flexion, telle section transversale peut offrir une résistance à la flexion égale dans tous les sens, tandis que la résistance à la rupture varie suivant la direction de l'effort qui tend à la produire ; l'examen des valeurs de F et de G dans le tableau n° 74, indique quelles sont les sections qui ont même résistance à la flexion ou à la rupture dans tous les sens.

Lorsqu'une pièce est chargée debout et que l'effort s'exerce dans le sens de l'axe, on doit adopter un cylindre ou un carré, ou bien une des figures symétriques 43, 44, 45 ; mais si l'effort, au lieu d'agir dans le sens de l'axe, se reporte sur l'une des faces, on rend cette face plus résistante au moyen d'une ou de deux nervures, ainsi que le font voir les figures 46 et 47.

2° De la section longitudinale.

239. Nous avons vu que les pièces horizontales ou inclinées

tendaient à rompre plutôt en un certain point de leur longueur qu'en tout autre. Il en résulte évidemment que si une pièce prismatique est assez forte pour résister en ce point, elle a un excès de force en tout autre, et contient par suite une certaine quantité de matière inutile. On peut donner à la section longitudinale une figure telle que la pièce soit partout également résistante, on obtient alors ce qu'on nomme les solides d'égale résistance.

En considérant l'expression de la résistance à la rupture d'une pièce encastrée à une extrémité, terminée latéralement par deux plans verticaux parallèles, et en dessus par un plan horizontal, le calcul indique que la face inférieure doit être taillée suivant une parabole dont l'axe est B A (fig. 48), si la pièce est chargée d'un poids P à son extrémité.

240. Si l'on suppose le solide chargé sur toute sa longueur de poids égaux, on reconnaît que la face inférieure est un plan incliné (fig. 49).

241. Enfin, quand le solide est chargé seulement de son propre poids, la face inférieure doit être taillée suivant une parabole dont l'axe est B C (fig. 50).

242. Pour un solide placé horizontalement sur deux appuis et chargé en A d'un poids 2 P, la face supérieure doit être taillée suivant deux portions de parabole, dont B B′ est l'axe commun (fig. 51).

243. Quand le solide posé horizontalement sur deux appuis est chargé de poids distribués uniformément sur sa longueur, la face supérieure est terminée par deux plans (fig. 52).

244. Quand le solide posé horizontalement est seulement chargé de son propre poids, la face supérieure doit être taillée suivant deux portions égales de parabole (fig. 53).

245. Pour un solide placé verticalement et chargé d'un poids sur l'extrémité supérieure, en admettant que toutes les sections transversales soient des cercles, on trouve que le diamètre de ces cercles diminue du milieu aux extrémités, qui sont des pointes (fig. 54). Dans la pratique, il faudrait toutefois prendre pour les extrémités, des surfaces telles qu'elles ne puissent s'écraser.

246. Dans toutes les figures d'égale résistance qui précèdent, on détermine la dimension C M, comme si l'on voulait conserver à la pièce sa forme prismatique, puis on décrit la courbe d'égale résistance.

Des systèmes de charpente composés de plusieurs parties assujetties entre elles.

247. Une poutre formée de plusieurs pièces de bois réunies, s'appelle *poutre composée*. La résistance d'une poutre de cette espèce dépend de la manière dont les différents cours sont assujettis les uns aux autres.

Si le système (fig. 31) est composé de plusieurs cours de longueur et d'épaisseur égales, consistant chacun en une poutre simple, posés et maintenus en contact les uns sur les autres, ou les uns à côté des autres, par des brides qui ne s'opposent pas au glissement les unes sur les autres des faces en contact, la résistance de ce système sera égale à la somme des résistances que chacun des cours aurait séparément. S'il y a n cours d'équarrissage égal et de même longueur, on multipliera par n la valeur de G, donnée au n° 74; ainsi, pour une poutre de n cours rectangulaires, la résistance sera :

$$n\frac{Rab^2}{6}$$

On ne tient pas compte du frottement des faces en contact pendant la flexion, cela tend à augmenter un peu la résistance du système, mais seulement lorsque les cours sont placés les uns *au-dessus* des autres, car il n'y a pas tendance au glissement lorsqu'ils sont posés les uns à *côté* des autres.

Lorsque chaque cours (fig. 32) est composé de plusieurs parties dans le sens de la longueur, mises bout à bout, la résistance de toutes les sections transversales n'est pas la même, celle de la section qui se trouve à l'endroit même du joint des pièces d'un cours, est diminuée de la résistance de ce cours. Si l'on a eu soin d'alterner les joints de manière qu'il ne puisse s'en trouver deux dans la même section transversale, la plus petite résistance du système sera égale à la somme des résistances des cours superposés ou juxta-posés, moins un.

Si l'on remarque de plus que la rupture tend à se faire plutôt en certains points déterminés qu'en d'autres, et si l'on a soin de disposer ces points de manière qu'il ne s'en trouve pas aux points de rupture, et qu'aux endroits où ils se trouvent, la puissance de rupture de l'effort à supporter soit diminuée précisément dans le même rapport que la résistance de la section, on pourra regarder la résistance du système comme égale à la somme des résistances des cours superposés; cela résulte de la variation de hauteur de la figure longitudinale des solides d'égale résistance.

248. On peut obtenir une poutre composée, d'une forme plus solide (fig. 33), en pratiquant des entailles rectangulaires sur les faces supérieures et inférieures des solives de chaque cours, de manière qu'elles soient opposées les unes aux autres, et puissent recevoir une clef ou coin de bois dur, pour empêcher le glissement des divers cours les uns contre les autres, quand ils sont sollicités à la flexion : ou encore, au lieu de cette disposition, les solives de chaque cours peuvent être façonnées à redans s'adaptant les uns aux autres (fig. 34), qui s'opposent de la même manière à toute tendance au glissement. Une poutre de cette construction, quand elle est assemblée avec des liens et des écrous en fer, sera presque aussi forte que si elle était d'une seule pièce ; et les expressions pour une solive d'une seule pièce pourront être appliquées pour estimer sa résistance à un effort transversal tendant à reproduire la flexion ou la rupture.

249. Dans les systèmes de charpente composés de deux cours de poutres (fig. 35), rendus solidaires par des croix de Saint-André et des montants, on ne tient pas compte de la résistance que peuvent offrir les pièces diagonales et verticales, on estime la résistance à la rupture comme pour une section transversale de la forme d'un double T (fig. 43), en faisant l'épaisseur de D égale à zéro, ce qui revient à faire $a = a'$ dans la valeur de G donnée par le nº 74, pour la forme du double T.

Le cours supérieur étant soumis à la compression dans le système (fig. 35), il suffit que les pièces qui le composent soient mises et maintenues bout à bout. Le cours inférieur étant soumis à l'extension, il faut que les pièces soient attachées les unes aux autres par des assemblages offrant à la tension une résistance égale à celle de la pièce. En prenant ces précautions, la force du système est sensiblement la même que si chaque cours était composé d'un seul morceau dans toute la longueur.

Tout ce que nous venons de dire pour les poutres composées rectilignes s'applique également aux arcs composés de plusieurs cours. On calculera absolument de même la valeur de la résistance G.

250. *Tableau du temps employé pour effectuer divers ouvrages de charpente.*

INDICATION DES TRAVAUX.	RÉSULTATS OBTENUS PAR DIVERS AUTEURS.		OBSERVATIONS
Transport à pied-d'œuvre de 1 mètre cube de charpente.			La main-d'œuvre des travaux de charpente comprend : 1° Le tracé de l'épure ; 2° Le débit des bois ; 3° La mise sur ligne ou l'établissement ; 4° La taille des bois, leur assemblage, désassemblage et rangement sur le chantier ; 5° Le transport à pied-d'œuvre ou bardage ; 6° La mise en place ou levage.
Chargement et déchargement dans un diable, par un atelier de neuf manœuvres et un contre-maître.	h 03.35		
Temps pour parcourir 100 mètres. . . .	0.06		
Le chargement seul, d'après d'autres expériences.		0.20	
Le déchargement.		0.15	
Le chargement et le déchargement dans une charrette, par un atelier d'un bardeur et trois manœuvres.	0.50		
Chargement et déchargement dans une petite barque par le même atelier. . . .	2.00		
Façon d'un tenon de 0.30 sur 0.20 et 0.10 :			
Au plus	2.40	1.82	
Au moins.	1.25		

Façon d'une mortaise :					
Au plus	2.00	h			
Au moins.	1.00	1.50			
Façon d'une entaille de moise à la rencontre des formes, etc. :					
Au moins.	0.50	1.00			
Au plus	1.50				
Façon d'un mètre carré de joints d'abouts de sommiers, chapeaux, moises . . .				10.50	
Assemblage à embrèvement.				5.00	
Assemblage à queue d'aronde.				6.00	
Percement de 1 mètre de trous de boulons sur le chantier.			1.05		
Sur place.			3.00		
Percement de 1 mètre de trous de boulons avec emploi.					
Sciage de 1 mètre carré de surface sur tréteaux, compris levage et pose, par deux scieurs de long.	1.20	1.40			Pour le bois de chêne.
Mètre carré de trait de scie ;					
Gros bois de charpente :					
Chêne.	1.45				
Petit bois :					
Chêne.	1.56				
Orme.	1.52				

INDICATION DES TRAVAUX.	RÉSULTATS OBTENUS PAR DIVERS AUTEURS.	OBSERVATIONS.
Sciage de 1 mètre carré :		
— d'entes, de pieux et de poteaux. . .	8.20	
Atelier de deux scieurs :		
— d'abouts de pièces.	5.00	
— de pieux de niveau avec des scies à la main.	10.50	
— de palplanches de niveau avec des scies à la main.	12.50	
Façon d'un pieu, un charpentier. . . .	1	
Id. et pose du sabot non encastré. . . .	1.25	
Pose et démolition d'un mètre cube de bois carré pour chapeaux d'échafauds :		
Un charpentier.	15	
Un manœuvre.	2	
Façon de 1 mètre cube de même bois, avec tenons et mortaises : un charpentier. .	28 40 34	
Un manœuvre.	3	
Démolition et rangement :		
— d'un mètre de bois carré pour chapeaux d'échafauds :		

Un charpentier.	0.83	
Un manœuvre	1.24	
— d'un mètre cube de bois carré pour chapeaux d'échafauds, sans tenon ni mortaise, mais avec cheville de fer :		
Un charpentier.	1.24	
Un manœuvre	1.24	
Façon d'un mètre cube de liernes boulonnées avec les pieux pour bâtardeaux :		
Un charpentier.	59	Trous de boulons, joints d'about et pose.
Démolition et rangement de 1 mètre de liernes boulonnées avec les pieux pour bâtardeaux :		
Un charpentier et un manœuvre. .	3.90	
Façon de 1 mètre cube d'entretoises boulonnées avec les pieux pour maintenir l'écartement :		
Un charpentier.	41	
Démolition et rangement de 1 mètre des mêmes :		
Un charpentier.	3.12	
Un manœuvre	3.91	
Façon de 1 mètre d'entretoises clouées avec les pieux :		
Un charpentier.	14	

INDICATION DES TRAVAUX.	RÉSULTATS OBTENUS PAR DIVERS AUTEURS.	OBSERVATIONS.
Démolition et rangement de 1 mètre d'entretoises clouées avec les pieux :		
Un charpentier.	7.33	
Un manœuvre	6.67	
Palplanche de bâtardeau ; façon et mise sur châssis :		
Un charpentier.	1.00	
Battage ; un enrimeur, un renard et douze manœuvres.	0.50	
Arrachage ; un charpentier et quatre manœuvres.	0.25	
Assemblage par panneaux de 1 mètre de madriers de 0.25 sur 0.8 avec traverses espacées de 2 mètres, y compris pose et échevillage :		
Un charpentier.	13.13	
Démolition et rangement :		
Un charpentier	5.50	
Un manœuvre.	7.50	

Pose et clouage de 1 mètre carré de plats-bords :			
Un charpentier.		0.48	
Démolition et rangement :			
Un charpentier et un manœuvre..		0.24	
Pose de 1 mètre de plats-bords sur un échafaud :			
Un charpentier.		0.02	
Un manœuvre..		0.08	
Démolition :			
Un charpentier.		0.02	
Un manœuvre..		0.08	
Pose et démolition de 1 mètre carré de planches de sapin clouées sur poteaux pour clôtures :			
Un charpentier.	0.50		
Un manœuvre..	0.60		
Façon d'un pieu de fondation, y compris pose du sabot non encastré :			
Un charpentier.	2.50	2.50	
Recepage d'un pieu :			
Un charpentier.	4.00		
Recepage d'un pieu à la hache et à découvert :			
Un charpentier..		1.11	

INDICATION DES TRAVAUX.	RÉSULTATS OBTENUS PAR DIVERS AUTEURS.	OBSERVATIONS.
Mètre carré de recepage de pieux à découvert :		
Un charpentier.	11.	
Mètre cube de chapeaux de fondations posés sur pieux, à tenons et mortaises :		
Un charpentier.	33	
Mètre cube de bois carrés non refaits, posés sur pieux, à tenon et mortaise, assemblés aux extrémités par embrèvement avec les chapeaux :		
Un charpentier.	44	
1 mètre de ventrières entaillées et boulonnées :		
Un charpentier.	27	
Pose de 1 mètre de chapeaux fixés sur les pieux par des chevilles :		
Un charpentier.	5.60	
Pose de 1 mètre de chapeaux fixés de même sur les pieux, mais sous l'eau :		

Un charpentier.	10.40		
1 mètre de poutre de plancher avec sous-poutres et contre-fiches :			
Un charpentier.	41.2		
Pose et assujettissement de 1 mètre de bois de sciage pour madriers :			
Un charpentier.	9.00		
Façon, pose du sabot, mise en châssis d'une palplanche de 0.10 d'épaisseur et de 0.25 de largeur, 4 mètres de longueur :			
Un charpentier.	1.50		
Palplanche de 0.10 d'épaisseur, 0.25 de largeur, 5 mètres de longueur :			
Affûtage, dressage à joints carrés. . . .	1.00		
Id. id. à rainures et languettes. . .	4.00		
Mise en châssis.	0.20		
Battage : un charpentier, un renard, cinq manœuvres, sonnette à déclic. . . .	3.00		Le temps employé dépend de la nature du sol dans lequel on bat les palplanches. On ne peut considérer ces expériences que comme donnant une idée de la main-d'œuvre exigée.
Taille, assemblage en chantier de 1 mètre de bois non refaits pour cintres, ponts provisoires, au-dessus de 0.25 d'équarrissage :			
Un charpentier.	15		
Au-dessous de 0.25 d'équarrissage. . .	25		

INDICATION DES TRAVAUX.	RÉSULTATS OBTENUS PAR DIVERS AUTEURS.	OBSERVATIONS.
1 mètre de bois refaits pour ponts et arcades, au-dessus de 0.25 d'équarrissage.	40	
Au-dessous de 0.25 d'équarrissage. . . .	50	
1 mètre de bois arrondis entaillés sur la longueur, avec feuillures, au-dessus de 0.25 d'équarrissage.	60.00	
Au-dessous de 0.25 d'équarrissage.	70	
1 mètre de bois pour la charpente des grandes machines, grues, chèvres, sonnettes :	90	
1 mètre de bois pour la charpente des petites machines, cabestans, treuils. . .	1.50	
Lanière de treuil :		
Un charpentier.	1.15	
Vis d'Archimède de 5.84 de long, 0.60 de diamètre extérieur.	2.63	
Mètre courant de leviers pour cabestan. .	1.00	
Percement de trous et pose de 1 mètre de couchis :		

Pour cintres de 0.20 d'équarrissage :		
Un charpentier..	7.01	
Préparation et pose de 1 mètre de bois pour pièces de pont.	38.00	
Levage, 1 mètre cube fait à la main pour les charpentes en redans :		
Un charpentier..	25.00	
Levage par parties assemblées.	15.00	
Levage au mètre cube de grandes parties assemblées, mues par des machines :		
Un charpentier et deux manœuvres..	5.00	
Mètre cube pour décintrement de voûtes ou démolition de ponts provisoires :		
Un charpentier et deux manœuvres	2.00	

244. Après avoir donné le temps nécessaire à diverses espèces d'ouvrages de charpente, nous allons indiquer la manière d'établir les prix qui doivent servir à l'évaluation des projets. — Les prix élémentaires sont ceux de l'un des départements du Nord, mais il sera facile de substituer ceux de la localité à laquelle on voudra les appliquer. Le but est d'indiquer le cadre à suivre pour établir les sous-détails.

N° 1. *Bois de Chêne de première qualité de gros équarrissage.*

Bois de chêne à vive arête pour poutre de pont, etc., de 0.30 à 0.40 d'équarrissage, jusqu'à 15 mètres de longueur, le mètre cube vaut, y compris déchet. 180.00

N° 2. *Bois de Chêne de moyennes dimensions.*

Le mètre cube de bois de chêne à vive arête, au-dessous de 0.30 d'équarrissage, jusqu'à 10 mètres exclusivement de longueur, vaut, y compris déchet. . . 130.00

N° 3. *Bois de Chêne, non à vives arêtes.*

Jusqu'à 0.25 d'équarrissage, pour longrines, pieux, etc., y compris déchet, vaut. 90.00

N° 4. *Madriers de Chêne de différentes épaisseurs et de 0.25 à 0.30 de largeur.*

Sous-détail pour 1 mètre cube de madriers de 6 centimètres d'épaisseur :

1° 1 mètre cube de bois à vives arêtes. .	130.00	
2° Déchet pour trait de scie, à raison de 0.004 d'épaisseur, 0.30 de largeur et 41.60 de longueur, ci 0m.05 cubes de bois qui à 130 fr. valent.	6.50	
3° 41.60 mètres courants de sciage à 0.25 l'un.	10.40	
Prix du mètre cube.	146.60	146.90

N° 5. *Sous-détail pour* 1 *mètre cube de madriers, à* 0.08 *d'épaisseur.*

1° 1 mètre de bois de chêne à 130, ci. . .	130.00	
2° Déchet pour trait de scie, à raison de 0.004 d'épaisseur, 0.30 de largeur et 27.76 de longueur, un cube de 0.033 à 130 fr. ci.	4.29	
3° 27.76 mètres courants de sciage à 0.25 l'un.	6.94	
Prix du mètre cube.	141.23	141.23

N° 6. *Sous-détail pour* 1 *mètre cube de madriers de* 0.10 *d'épaisseur.*

1° 1 mètre de bois de chêne, ci.	130.00	
2° Déchet pour trait de scie, 0.027 cubes à 130, ci.	3.00	
3° 22 mètres courants de trait de scie à 0.25, ci.	5.50	
Prix du mètre cube.	138.50	138.50

Nota. On peut régler de la même manière le prix des madriers de toute épaisseur.

N° 7. Le mètre cube de feuillets de chêne de 0.027 d'épaisseur, 0.22 de largeur, reviendra à.	160.00
N° 8. Bois de hêtre non avivé, le mètre cube vaudra.	65
N° 9. Bois de hêtre à vives arêtes de toute longueur, jusqu'à 0.40 d'équarrissage.	75

N° 10. *Madriers de hêtre de différentes épaisseurs.*

Sous-détail pour 1 *mètre cube de madriers de hêtre de* 0.10 *d'épaisseur.*

1° 1 mètre de bois de hêtre à vives arêtes.	75.00	
2° Déchet pour trait de scie, 0.027 de bois à 75 fr., ci.	2.03	
3° 20 mètres courants de sciage à 8.25. .	5.00	
Prix du mètre cube.	82.03	82.03

N° 11. *Sous-détail du prix de* 1 *mètre cube de madriers de hêtre de* 0.08 *d'épaisseur.*

1° 1 mètre de bois de hêtre équarri. . . .	75.00	
2° Déchet, 0.033.	2.47	
3° 27.76 mètres courants de sciage à 0.25, ci.	6.94	
Prix du mètre cube.	84.41	84.41

N° 12. *Bois de sapin de moyennes dimensions.*

1 mètre de pièces de 0.26 à 0.30 d'équarrissage de toute longueur.	90.00
N° 13. Planches de sapin de 0.27 d'épaisseur, le mètre carré reviendra à.	2.80
N° 14. Bois blanc; le mètre cube de bois blanc, tel que peuplier et aulnois vaut, à vives arêtes.	40.00
Le mètre cube de même bois non avivé..	35.00

N° 15. *Planches de bois blanc.*

1° 1 mètre de bois blanc à vives arêtes. .	40.00	
2° 0.27 de déchet pour 272 mètres courants de traits de scie de 0.25 de largeur et 0.004 d'épaisseur.. . .	10.80	
3° 272 mètres courants de sciage, à 0.15 l'un, ci..	40.80	
Prix du mètre cube de feuillets de 0.017 d'épaisseur.	91.60	91.60

Ce qui fera revenir le mètre carré de feuillets de bois blanc, à.	1.50
Le mètre carré de planches de 0.27 d'épaisseur, reviendra à..	1.95

N° 16. *Piquets pour clayonnage.*

Le 100 de piquets de charme, de chêne ou de frêne de 1.30 de longueur et 0.06 de diamètre.	30.00
Le 100 de piquets de même bois, de 1.60 de longueur et 0.07 de diamètre.	40.00

Le 100 de piquets de 3 mètres de longueur et 0.10 de diamètre.	80.00

PRIX COMPOSÉS ET SOUS-DÉTAILS DES OUVRAGES DIVERS.

N° 17. *Sous-détail du prix de 1 mètre cube de bois de chêne de première qualité et de grandes dimensions.*

1 mètre de bois, n° 1, ci	180.00	
Taille, assemblage; huit journées de charpentier, à 2.50.	20.00	
Pose et levage.	6.00	
Outils et faux frais.	2.00	
Prix du mètre cube.	208.00	208.00

N° 18. *Sous-détail de 1 mètre cube de bois de chêne de moyennes dimensions pour ponts, garde-corps, etc.*

1 mètre cube de bois, n° 2, ci.	130.00	
Taille, assemblage et pose; 10 journées de charpentier à 2.50.	25.00	
Faux frais et équipage. . . .	2.50	
Prix du mètre cube.	157.50	157.50

N° 19. *Sous-détail du prix de 1 mètre cube de bois non avivé, pour pieux et tirants de retenue.*

1 mètre de bois de chêne.	90.00	
Main-d'œuvre : cinq journées de charpentier, à 2.50.	12.50	
Outils et faux frais.	102.00	102.00

N° 20. *Sous-détail du prix du mètre cube de bordage en chêne de 0.06 d'épaisseur, pour revêtement de culées en charpente, etc.*

1 mètre de bois à 146.90.	146.90	
Dèchet, 1/20.	7.34	
Main-d'œuvre : six journées de charpentier à 2.50.	15.00	
Outils et faux frais.	1.50	
Prix du mètre cube.	170.74	170.74

N° 21. *Sous-détail du prix de 1 mètre cube de même bordage en madriers de 0.08 d'épaisseur.*

1 mètre de bois	141.22	
Déchet, 1/20	7.06	
Main-d'œuvre : cinq journées de charpentier, à 2.50	12.50	
Outils et faux frais	1.00	
Prix du mètre cube	161.79	161 79

N° 22. *Sous-détail de 1 mètre cube de même bordage en madriers de 0.10 d'épaisseur.*

1 mètre de bois, à 139.06, ci	139.06	
Déchet, 1/20	6.95	
Façon : quatre journées de charpentier	10.00	
Outils et faux frais	1.00	
Prix du mètre cube	157.01	157.01

N° 23. *Sous-détail du prix de 1 mètre cube de bois de hêtre équarri, pour chapeaux, moises, etc.*

1 mètre de bois	75.00	
Main-d'œuvre pour assemblage et pose, quatre journées de charpentier, à 2.50	10.00	
Outils et faux frais	1.00	
Prix du mètre cube	86.00	86.00

N° 24. *Sous-détail du prix de 1 mètre cube de bois de hêtre non avivé, pour pieux, tirants, etc.*

1 mètre de bois	65.00	
Main-d'œuvre, y compris affûtage et recepage	4.00	
Outils et faux frais	1.00	
Prix du mètre cube	70.00	70.00

N° 25. *Sous-détail du prix de 1 mètre cube de madriers de hêtre de 0.10 d'épaisseur, pour palplanches et plateformes.*

1 mètre de madriers de hêtre	82.00	
Déchet, 1/10	8.20	
Main-d'œuvre : six journées de charpentier	15.00	
Prix du mètre cube	105.20	105.20

N° 26. *Détail des prix pour le battage à la sonnette des pieux et palplanches.*

Le battage à la sonnette d'un pieu de 0.20 à 0.24 centimètres d'équarrissage, enfoui dans un sol tourbeux et sablonneux, est évalué, pour une fiche de 3.50, à. .		6.60
Et pour chaque mètre en sus..		1.50

N° 27. *Pilot de* 0.30 *d'équarrissage prenant* 3 *mètres de fiche dans une terre argileuse mêlée de cailloux et craon.*

Une sonnette à tiraude, portant un mouton du poids de 250 kilogrammes, manœuvrée par 18 hommes, payés 1.50 par jour, et 1 charpentier arrimeur, payé 3 f., battra 4 pilots par jour, ce qui donne pour le battage de chaque pilot.	7.50	
Frais de sonnette, échafaudage et conduite.	0.75	
Prix du battage d'un pilot. . . .	8.25	8.25

N° 28. *Pilot de* 0.20 *d'équarrissage et au-dessous, prenant* 3 *mètres de fiche, pour former l'enceinte des bâtardeaux.*

Une sonnette manœuvrée comme ci-dessus, battra six pilots par jour, ce qui fait revenir le battage à.	5.00	
Frais de sonnette, échafauds et conduite.	0.50	
Prix du battage d'un pilot. . . .	5.50	5.50

N° 29. *Sous-détail du prix du battage de* 1 *mètre courant de palplanches, prenant moyennement* 2 *mètres de fiche.*

Une sonnette, manœuvrée comme précédemment, battra 4 mètres courants de palplanches, ce qui fera revenir le mètre à.	7.50	
Frais de sonnette, échafauds et conduite.	1.00	
Prix du mètre courant de palplanches..	8.50	8.50

N° 30. *Sous-détail du prix de 1 mètre cube de bois de sapin pour étais, échafauds, etc.*

1 mètre de bois de sapin..........	70.00	
Main-d'œuvre : quatre journées de charpentier, à 2.50................	10.00	
Outils et faux frais.........	2.00	
Prix du mètre cube.....	82.00	82.00

N° 31. *Sous-détail du prix de 1 mètre courant de piquets clayonnés, sur* 0.35 *de hauteur.*

2 piquets à 40 fr. le cent...........	0.80	
25 verges à 1.25 la botte de 25 brins...	1.25	
Affûtage des piquets.............	0.02	
Battage des piquets et main-d'œuvre de clayonnage, y compris façon et pilonnage des remblais............	0.25	
Prix du mètre courant.....	2.32	2.32

N° 32. *Sous-détail de 1 mètre courant de piquets clayonnés avec remplissage de cailloux siliceux.*

Fournitures des verges et piquets comme à l'article précédent............	1.50	
Façon.....................	0.25	
0m.10 de cailloux siliceux, à 3.50 le mètre.	0.35	
Approche, emploi des cailloux, garnissage des vides en terre argileuse.......	0.25	
Prix du mètre courant.....	2.35	2.35

N° 33. *Sous-détail du prix du calfatage à deux étoupes de 1 mètre carré de bordages en chêne de* 0.06 *d'épaisseur.*

Le garnissage en étoupes de 3 mètres courants de joints consommera 1k.50 d'étoupes à 0.50 l'un.............	0.75	
0 k. 12 décagrammes de brai à 0.80 le kilogramme..................	0.10	
Main-d'œuvre, 1h.67 d'ouvrier calfat, à 0 fr. 30 l'heure...............	0.50	
Outils et faux frais.......	0.96	
Prix du mètre carré.....	2.31	2.31

N° 34. *Sous-détail du prix de démolition et rentrée en magasin de 1 mètre cube de bois provenant de bâtardeaux, etc.*

Démolition; une journée de charpentier. .	2.00	
Transport et rangement en magasin; une journée de manœuvre.	1.60	
Prix du mètre cube.	3.60	3.60

N° 35. *Sous-détail du prix de 1 mètre carré de planch. or cloisons ou portes en planches de bois blanc de 0.027 d'épaisseur, assemblées à rainures et languettes et blanchies sur les faces extérieures.*

1 mètre carré de planches de bois blanc. .	1.95	
Déchet, 1/10.	0.20	
Main-d'œuvre et pose : trois heures de menuisier à raison de 0.30 l'heure.	0.90	
4 clous.	0.21	
Prix du mètre carré.	3.26	3.26

FER, CUIVRE, PLOMB.

N° 36. *Gros fer non limé; pour crampons, ancres, etc.*

Le kilogramme, compris pose. 1.00

N° 37. *Fer forgé pour sabots de pieux, étriers, frette, etc.*

Le kilogramme, pose comprise. 1.20

N° 38. *Fers ajustés à la lime pour boulons à vis et écrous, équerres, pentures, chaînes de chapelets, ferrures de portes et ponts.*

Le kilogramme, pose comprise. 1.40

N° 39. *Clous et broches.*

Clous ordinaires, le kilogramme.	1.40
Clous à lattes de 1,000 au kilogramme; le kilogramme.	1.50
Clous à ardoises de 1,000 à 1,200 au kilo.; le kilogramme.	2.00

Clous sans tête depuis 60 jusqu'à 140 au kilog., le kilogramme.	1.10
Clous d'épingle, depuis 200 jusqu'à 1,200 au kilog., le kilogramme.	2.10
Broches et chevillettes, depuis 8 jusqu'à 30 centimètres de longueur, le kilog. . . .	1.50

N° 40. *Fonte de fer douce, pour crapaudine, etc., y compris pose, frais de modèle et d'ajustage.*

Le kilogramme.	0.85
Fonte commune, le kilogramme.	0.60

N° 41. *Acier fin.*

Le kilogramme.	

N° 42. *Fonte de cuivre, pour colliers et crapaudines, y compris frais de modèle.*

Le kilogramme.	4.50
Cuivre rouge fondu et taraudé, le kilogr.	5.00

N° 43. *Plomb pour scellements.*

Le kilogramme, y compris emploi.	1.20

N° 44. *Soufre pour scellements.*

Le kilogramme.	1.60

N° 45. *Peinture.*

Le mètre carré, en couleur jaune ou rouge :	
Pour deux couches.	0.40
Et pour les autres.	0.17
Le mètre carré de peinture au goudron empâté de rouge :	
Pour deux couches.	0.60
Pour les suivantes.	0.21
Le mètre carré de peinture en noir d'ivoire pour les ferrures :	
Pour deux couches.	0.75

Dans tout ce qui précède nous n'avons parlé que des ponts droits, c'est-à-dire de ceux dont l'axe est perpendiculaire à la direction de la route. Ayant eu occasion de lire un ouvrage anglais entièrement pratique sur les ponts obliques, nous avons cru qu'il serait intéressant d'en donner ici une traduction. Les procédés de construction indiqués dans cet ouvrage sont à la portée de toutes les personnes qui ont les premières notions d'algèbre et de géométrie descriptive. Ils sont d'une grande simplicité dans la pratique. L'appareil hélicoïdal adopté par l'auteur a été employé dans les ponts obliques des chemins de fer anglais et belges, il a donc pour lui la sanction de l'expérience.

ESSAI PRATIQUE ET THÉORIQUE

SUR LA

CONSTRUCTION DES PONTS OBLIQUES

PAR

GEORGES-WATSON BUCK (1).

INTRODUCTION.

L'essai suivant a été écrit pour accéder aux désirs de quelques amis qui savaient que, pendant l'exécution de la partie du chemin de fer de Londres à Birmingham, comprise entre Londres et Tring, qui était confiée aux soins immédiats de l'auteur comme ingénieur résident, il avait saisi cette occasion d'étudier ce sujet important. C'est une branche intéressante de l'art de l'ingénieur, une connaissance maintenant

(1) La publication de cet ouvrage a été annoncée il y a environ trois ans, on pressait l'auteur à cette époque de le faire paraître, il n'en fit cependant rien, parce que l'expérience acquise lors de la construction de plusieurs ponts augmentait tous les jours ses connaissances sur ce sujet. Depuis cette époque, ce traité a été entièrement revu, et l'on a inséré les résultats de l'expérience et des études subséquentes. L'auteur aurait regretté qu'il parût plus tôt.

indispensable pour la construction d'un grand nombre de travaux qui ont reçu la sanction législative.

Dans l'ouvrage de Nicholson, sur la coupe des pierres, publié en 1828, la manière de construire les voûtes obliques à appareil hélicoïdal est très-brièvement exposée; cependant nous lui devons les premiers principes de cet art, mais ils ne sont pas suffisamment développés. Après cette déclaration, l'auteur n'hésitera point à faire usage des principes exposés dans cet ouvrage, sans se croire obligé de le rappeler ultérieurement; nous ferons remarquer toutefois que notre traité n'a réellement de commun avec celui de Nicholson qu'une petite partie des premier et troisième chapitres.

L'auteur a cru devoir entrer dans les plus petits détails de construction, quelques personnes croiront peut-être ces développements inutiles; cependant il a l'espoir que les constructeurs apprécieront les moindres renseignements sur un sujet que l'on regarde généralement comme difficile.

On ne connaît point l'époque où les premières arches obliques furent construites, on trouve quelques renseignements à cet égard dans le premier volume des transactions de l'institution des ingénieurs civils, ils sont contenus dans la relation des détails de construction d'un pont en pierre, élevé sur la Doria Riparia, qui se jette dans le Pô, auprès de Turin, par le chevalier Mosca, ingénieur et architecte du roi de Sardaigne, etc., etc..... Ces renseignements ont été écrits et communiqués par M. Albano, nous en donnerons l'extrait suivant :

« Le régime de la rivière et la direction du courant oblique sur l'axe de la route principale à l'entrée de la ville étaient les premières difficultés à vaincre, l'ingénieur com-

prit d'abord la nécessité d'ouvrir un nouvel embranchement à travers les faubourgs et de construire un pont d'une seule arche, il conçut quels obstacles et quel mauvais effet produirait un pont oblique de trois petites arches ayant ses piles obliques au courant, ou même une arche de plus grande ouverture ayant une grande obliquité; il sentit que l'art, quoiqu'il ne fût point d'origine récente en Italie, ne fournissait point encore de moyens sûrs d'exécuter d'une manière satisfaisante un ouvrage de cette espèce de grandes dimensions (1). »

Cet extrait et la note qui y est jointe établit deux faits: d'abord que les ponts obliques remontent à une époque assez reculée; ensuite que récemment encore l'art n'était point assez avancé pour qu'un ingénieur osât se risquer à construire un pont oblique de grandes dimensions.

Si c'était nécessaire, ce serait là une apologie suffisante de l'auteur d'avoir osé essayer de jeter quelque lumière sur ce sujet. Un des points auxquels on s'est principalement attaché, a été de déterminer par le calcul les dimensions de chaque partie d'un pont oblique; on les obtient ainsi d'une manière plus expéditive que par le dessin; de plus ce mode conduit à des résultats parfaitement justes, tandis que le dessin n'est qu'une approximation.

Pour donner cette solution, on a nécessairement établi quelques formules mathématiques; elles sont extrêmement simples, et pour plus de clarté encore, on les a appliquées à deux

(1) Cet art paraît y avoir été connu vers 1530, où Nicolo, appelé *H. Tribolo* construisit un pont de ce genre sur la rivière Mugnone, auprès de *Porta Sangallo* à Florence, sur la grande route de Bologne (voyez Vasari, vol. 11, page 308, édition de Milan, 1811).

exemples, avec tous les détails que pourraient désirer les personnes qui feront usage de ce petit traité. Il n'a point été écrit pour l'ouvrier sans instruction ; ce sujet ne peut pas être mis à sa portée, si on veut le traiter convenablement. Il est destiné aux ingénieurs et aux architectes en général, mais surtout à ceux qui sont chargés de la conduite des travaux publics, et qui, jeunes encore, ne se plaindront pas qu'il contient trop d'applications mathématiques.

Il n'est peut-être pas inutile de faire remarquer que les règles que nous donnons ici ne sont point spéculatives, ce sont celles que l'auteur a appliquées et applique encore tous les jours avec succès dans la pratique.

G. W. Buck.

Londres, 1839.

ESSAI PRATIQUE ET THÉORIQUE

SUR

LES PONTS OBLIQUES.

CHAPITRE PREMIER.

Géométrie descriptive applicable aux premiers principes.

Soit ABCD, fig. 1, pl. III, le plan d'un demi-cylindre dont la base est représentée par AEB. Supposons qu'il s'agisse de décrire sur le plan ABCD, la ligne spirale qui enveloppe la surface demi-cylindrique sur la longueur BD, mesurée parallèlement à l'axe.

Supposons le demi-cercle AEB divisé en un certain nombre de parties égales, 1, 2, 3, 4, 5, etc., et la ligne BD divisée aussi en un même nombre de parties égales; si des divisions du demi-cercle on mène une série de droites parallèles à l'axe, et, des divisions de la ligne BD, une autre série de droites perpendiculaires au même axe, les intersections réciproques de ces lignes donneront autant de points de la projection de la spirale du cylindre sur le plan ABCD. Si l'on prend maintenant BF et DG égales au développement du demi-cercle AEB, et perpendiculaires à BD, le parallélogramme BFGD sera le développement de la surface demi-cylindrique ABCD, et la diagonale BG sera celui de la spirale B. 1. 2. 3. 4. 5. 6. 7. 8. 9. C.

Le dessin n° 1 donne la projection d'une ligne spirale tracée sur un demi-cylindre. La figure n° 2 va nous donner la projection d'une surface spirale cylindrique. Les mêmes lignes, dans les deux figures, sont indiquées par les mêmes lettres.

On suppose que la surface spirale a une largeur NA ou BH, pour obtenir la projection de la spirale tracée sur le demi-cylindre de même longueur que précédemment, mais dont le diamètre est NH, il suffit de répéter la construction indiquée en l'article premier, et la ligne courbe H*abcdefghi*M sera la projection demandée, l'espace contenu entre les deux lignes spirales ainsi décrites est la projection de la surface spirale (1).

Si maintenant on prend sur les lignes HI et LK, menées à angle droit sur HL, des longueurs égales au développement de la demi-circonférence NOH, le parallélogramme HIKL sera le développement de la surface demi-cylindrique NHLM, et la diagonale HK celui de la ligne spirale H*abe*.,. M.

Dans les figures précédentes, le parallélogramme BFGD est le développement de la surface droite cylindrique ABDC, et le parallélogramme HIKL est celui de la surface droite cylindrique NHLM; BD ou son égale HL est la longueur du cylindre nécessaire pour que l'hélice BC puisse faire un demi-tour complet, sous l'angle donné DBG; cette longueur BD sera appelée la longueur ou le *pas* de l'hélice, et la portion de l'hélice qui enveloppe les deux cylindres est une *spire*.

Connaissant la manière d'obtenir la projection d'une hélice enveloppant un cylindre, il est facile d'obtenir la projection de l'intrados d'une voûte divisée en zones hélicoïdales par un nombre quelconque d'hélices égales et semblables. On divisera la longueur BD en un certain nombre de parties égales, on prendra sur la figure 1, un modèle ou patron de la projection de l'hélice, au moyen d'un carton exactement découpé suivant la courbe, et on appliquera chaque extrémité de ce pistolet aux points B et C; puis, le faisant glisser parallèlement à lui-même, fig. 3, aux points B′, C′ et ainsi de suite, de manière à obtenir la projection de toutes les hélices tracées sur la surface de la voûte.

De même, si l'on veut avoir la projection des hélices tracées sur l'extrados, on prendra le patron de la projection HM, fig. 2, et l'on portera successivement ses deux points extrêmes sur les points H et M, H′ et M′, H″ M″, etc., fig. 3. Et l'on tracera une nouvelle série de courbes suivant le pistolet, qui seront la projection de celles tracées sur l'extrados de la voûte; on les a omises dans cette figure, afin d'éviter la confusion des lignes.

(1) La génératrice de cette surface est une droite se mouvant sur ces deux hélices comme directrices et restant toujours dans un plan perpendiculaire à l'axe du cylindre. (*Note du Traducteur.*)

Nous allons maintenant faire connaître la manière d'obtenir le développement de la surface d'un cylindre coupé obliquement.

Supposons que A C D A, fig. 4, représente une portion d'un demi-cylindre, dont le diamètre est A B, déterminée par deux plans parallèles A C, H D, faisant avec l'axe un angle égal à A C B; les lignes C D ou A H sont la longueur de la portion de cylindre à développer, et la surface demi-cylindrique A C D H est celle dont il s'agit d'obtenir le développement.

Prenons B F perpendiculaire à B D et égale au développement de la demi-circonférence A E B; divisons B E A en un nombre quelconque de parties égales B_1, 1.2, 2.3, 3.4, etc... et son développement B F en un même nombre de parties égales B.1, 1.2, 2.3, 3.4, etc.... Par les points de division de la demi-circonférence menons sur la surface cylindrique une série de lignes 1. *a* 2. *b*, 3. *c*, 4. *d*.... parallèles à l'axe et coupant la section A C aux points *a*, *b*, *c*, *d*.... Menons de même par les points de division du développement B F, une série de lignes parallèles à l'axe du cylindre; dans le développement de la surface cylindrique la série de lignes partant des divisions de la circonférence viendra se rabattre sur ces dernières. Si, maintenant, des points *a*, *b*, *c*, *d*, nous tirons des lignes perpendiculaires aux premières, les points *a'*, *b'*, *c'*, *d'*.... où elles couperont la deuxième série ci-dessus, appartiendront au développement de la section dont A C est la projection; si par les points ainsi obtenus, et qu'on peut multiplier autant qu'on le désirera, on fait passer une courbe C *a' b' c' d'*...., elle représentera le développemeut de la section A C.

Il est facile de voir que l'on obtiendrait de la même manière le développement de la section H D qui se trouverait représenté par D G, courbe en tous points égale et parallèle à C F, si C D est égal à A H. La surface C F G D est le développement de la surface demi-cylindrique qui se projette sur le parallélogramme A C D H.

Supposons maintenant que l'on se propose de construire une arche demi-circulaire, ou à plein cintre, sous une route dirigée suivant A C ou D H et faisant avec la direction des culées C D, A H, un angle A C B, fig. 5. Le diamètre du cylindre est A B, nous prendrons B F, ainsi que nous l'avons déjà fait, égal au développement de la demi-circonférence A' E' B', et nous tracerons, comme nous venons de l'indiquer, les développements C F, D G et C F D G des sections A C, H D, et de la surface A C D H. Divisons maintenant C F et D G

en un certain nombre de parties égales, 1, 2, 3, 4, 5, etc., de telle sorte que chaque partie corresponde à l'épaisseur d'une assise de pierre, en ayant soin de choisir de préférence la division par nombre impair, de manière à avoir une assise au milieu pour former la clef. Menons une ligne C I perpendiculaire à la droite C F, elle rencontrera la ligne F G en un point I tel que E I sera le développement de l'hélice dont le joint C K, partant de la naissance de l'arche, formera la première partie. Tous les autres joints seront tirés parallèlement à ce premier, par les points de division 1, 2, 3, 4.... et les lignes (C 4), (1, 5), (2, 6), (3, 7),... représenteront les joints des assises entières, c'est-à-dire occupant toute la longueur de la voûte; les lignes (*a*, 3), (*b*, 2), (*c*, 1),... représenteront les joints des portions d'assises qui ne vont pas d'une tête à l'autre de la voûte, et qui coupent la ligne de naissance C D. Toutes les lignes de ce dessin se rapportent à la surface intérieure ou à l'intrados de la voûte. L'angle B F C = M C I se nomme, techniquement parlant, l'angle hélicoïdal ou l'angle de l'intrados, ce qui est la même chose que l'angle que fait avec l'axe du cylindre le développement des joints. C M est ce que nous avons appelé la hauteur ou le pas de l'hélice des joints.

La description complète d'une arche oblique exige que l'on connaisse aussi la direction des joints dans le développement de l'extrados. Il paraît généralement plus difficile à comprendre, cependant, sans ce développement, la position des joints dans le plan de tête de la voûte ne peut être déterminée.

Soit L O N W, fig. 6, le développement de l'extrados, construit d'après la méthode indiquée ci-dessus. On suppose que la première hélice de l'extrados, celle qui part du joint de la naissance, a son origine dans la même section droite que la première hélice de l'intrados, c'est-à-dire que les deux hélices ont leur origine, celle de l'intrados en C, celle de l'extrados en P; C P représentant l'épaisseur de la voûte. La longueur C M du pas de l'hélice de l'intrados devant être égale à la longueur P R du pas de l'hélice de l'extrados, et S O étant d'ailleurs de largeur égale à la demi-circonférence S T U, P Q sera le développement de l'hélice extradossale, ainsi qu'on l'a déjà démontré, fig. 2; cette ligne P Q donne la direction des joints continus sur l'extrados : la longueur C P ou M R est égale à l'épaisseur de la voûte ou à la largeur de la surface spirale. Divisons maintenant la distance C D comme elle a été divisée dans la figure 5, menons *ad*, *be*, *cf*, D *g* perpendiculaires à C D, et *dl*, *ck*, *fi*, *gh* paral-

lèles à P Q, ces dernières lignes seront le développement des joints continus des assises qui viennent couper la ligne de naissance, P W. Faisons ensuite l'autre côté O N du développement exactement égal et semblable à L W, reportons sur O N la longueur W g = O h, menons la parallèle hn P Q; la distance nn' prise sur O L, étant divisée en un même nombre de parties égales que C F dans la figure 5, si l'on tire des points de division des parallèles à PQ, ces lignes représenteront le développement des joints de l'extrados.

Il est maintenant utile d'obtenir l'élévation de la tête de la voûte, résultante de la manière dont nous venons de déterminer les surfaces des joints des voussoirs, cette élévation présente la même apparence qu'une demi-vis à filets plans coupée sous l'angle A C B.

Traçons la demi-ellipse A D B, fig. 7, dont la moitié du petit axe est égale au rayon du cercle, et le grand axe A B égal à l'oblique A C, fig. 5, traçons de même la demi-ellipse E F G, dont la moitié du petit axe sera F C = C D + D F, D F est l'épaisseur de la voûte à la clef, et le grand axe E G sera égal à l'oblique U L, fig. 6.

Transportons maintenant les intervalles C a, $a\,b$, $b\,c$, $c\,d$..... des joints sur le développement de l'intrados, fig. 5, en Ba, ab, bc, cd, de, eD.... sur la demi-ellipse, B D A, fig. 7, les points ainsi obtenus appartiendront aux joints de l'intrados sur la tête de la voûte. Prenons de même, dans la figure 7, les intervalles Gk, ka, ab, bc, ca.... respectivement égaux aux longueurs Lk', $h'a'$, $a'b'$, cd'.... dans la figure 6, et les points k, a, b, c, d.... dans la figure 7, seront ceux où les joints de l'extrados viennent couper le plan de tête de l'arche, les lignes B $k\,a\,a'$, $b\,b'$, cc', dd, etc.... indiquent la direction des joints dans le plan de tête de la voûte.

Il est bon de faire remarquer que ces joints Bk, aa', bb', bb', cc'.... ne sont point des lignes droites, mais des courbes concaves du côté supérieur; que le joint situé auprès de la naissance B G est le plus courbe, et que la courbure diminue graduellement vers le sommet où elle disparaît entièrement.

Si l'on fait un troisième développement au milieu de l'épaisseur du cylindre, on obtiendra une série intermédiaire de points appartenant à la trace des joints sur le plan de la tête, en suivant exactement la même marche que celle que nous avons suivie pour obtenir les points k, a', b', c', d', de l'extrémité des joints de l'extrados. Cette série intermédiaire donnera un troisième point de la trace courbe des surfaces

des joints sur le plan de tête, mais la courbure de cette ligne est trop petite pour être rendue sensible dans un dessin de la dimension à laquelle nous sommes restreints dans cet ouvrage. Nous donnerons plus loin un moyen plus facile de l'obtenir. On peut voir dès à présent que pour faire un dessin correct d'une arche oblique, il faut un grand nombre de projections de lignes, ce qui fait qu'il est extrêmement difficile d'atteindre la précision absolument essentielle dans un bon ouvrage. Il s'ensuit donc que si on peut le faire par le calcul, ce sera infiniment préférable, et nous allons faire voir qu'on peut en effet procéder de cette manière.

CHAPITRE II.

Recherches de formules pour déterminer les dimensions et les angles.

Après avoir examiné plusieurs dessins d'arches obliques faits sur une grande échelle et exécutés avec beaucoup d'exactitude d'après les principes exposés dans le chapitre précédent, nous avons remarqué qu'il existe pour la description de ces arches, une propriété remarquable que nous allons faire connaître :

Si l'on prolonge suffisamment les lignes Bk, $a\,a'$, $b\,b'$, $e\,e'$, etc... fig. 7, qui sont les cordes des petites courbes représentant la trace des joints sur le plan des têtes, elles se coupent toutes en un même point O au-dessous de l'axe du cylindre ; cette propriété existe lors même que l'obliquité est assez grande pour rejeter le point O entièrement hors du cylindre (supposé décrit en entier), cette remarque facilite beaucoup le dessin de l'élévation des têtes et permet d'éviter une foule d'erreurs (*voir* la note). Nous allons maintenant cher-

---

Note. Une ligne passant par les deux points x', y' ; x'', y'' situés respectivement sur deux cercles concentriques dont le rayon est r et R, va rencontrer l'axe des y en un point O, dont la distance au centre est donnée par n dans l'équation de la ligne $y=mx+n$, équation qui doit être satisfaite par les coordonnées (x', y'), (x'', y'').

$$y'=m\,x'+n \qquad y''=m\,x''+n,$$

$$\frac{y'-y''}{x'-x''}=m\,;\; y'=\frac{y''-y'}{x''-x'}x'+n\,;$$

D'où
$$n=\frac{y'x-y'x'-y''x'+x'y'}{x''-x'},$$

ou
$$n=\frac{y'x''-y''x'}{x''-x'}.$$

Pour exprimer que les points x', y' et x'', y'' se trouvent respectivement sur les cercles dont les rayons sont r et R, on a, en appelant a et A les angles que forment avec l'axe de x les rayons correspondants aux points dont il s'agit :

$$y'=r\ \text{sin.}\ a,$$
$$x'=r\ \text{cos.}\ a,$$
$$y''=\text{R}\ \text{sin.}\ \text{A},$$
$$x''=\text{R}\ \text{cos.}\ \text{A},$$

cher le moyen de déterminer la position du point O par le calcul, et l'on verra que nous parviendrons en même temps à des formules d'une grande utilité pratique pour le sujet qui nous occupe.

En remplaçant y', x', y'', x'' par ces valeurs dans l'expression de n ci-dessus, on a :

$$n = \frac{Rr \sin. a \cos. A - Rr \sin. A \cos. a}{R \cos. A - r \cos. a}$$

$$\text{ou } n = \frac{Rr \sin. (A - a)}{r \cos. a - R \cos. A}.$$

Pour qu'un autre joint, suffisamment prolongé, vienne encore passer par le point o, il faut qu'on ait également :

$$n = \frac{Rr \sin. (A' - a)}{r \cos. a' - R \cos. A} = \frac{Rr \sin. (A - a)}{r \cos. a - R \cos. A},$$

d'où l'on tire la relation :

$$\frac{\sin. (A - a}{\sin. (A' - a')} = \frac{R \cos. A - r \cos. A}{R \cos. A' - r \cos. a'}.$$

Supposons actuellement une surface gauche spirale coupée par un plan oblique C_2 (fig. 2) faisant un angle θ aigu avec l'axe du cylindre.

Ce plan coupe l'hélice de l'intrados au point (2), et l'hélice de l'extrados à une distance h du plan de la section droite (2, b). Il s'agit d'abord de calculer cette distance. Désignons par a l'angle du rayon passant, dans la section droite, par les points (2, b) ; la distance (2, b) sur le plan horizontal est égale à $e. \cos. a$. Désignons par A l'arc de cercle Hi, nous aurons $\frac{h}{R \cos. A - r \cos. a} = \cot. \theta$,

d'où $h = \cot. \theta \, (R \cos. A - r \cos. a)$; en développant la portion à droite de h du triangle (i, 2, b), nous avons $\frac{\frac{h}{\pi R}}{180} (A - a) = \frac{KI}{\pi R} h = \frac{KI \, (A - a)}{180} = C \, (A - a)$.

$$C \, (A - a) = \cot. \theta \, (R \cos. A - r \cos. a).$$

Pour un autre joint nous aurons :

$$C \, (A' - a') = \cot. \theta \, (R \cos. A' - r \cos. a')$$

$$\frac{A - a}{A' - a'} = \frac{L}{L'} = \frac{R \cos. A - r \cos. a}{R \cos. A' - r \cos. a'}.$$

Les arcs L et L' étant toujours très-petits, il est permis de substi-

Soit le rayon du cylindre. . . . . $= r$
Son épaisseur. . . . . $= e$
L'angle d'obliquité.. . . . . $= \theta$
La circonférence du cercle dont le diamètre est 1 $= \pi$

Voyez fig 5, alors $EB = 2\,r$

$$BC = 2\,r\ \text{cot.}\ \theta$$
$$BF = \pi\,r$$
$$AC = 2\,r\ \text{cosec.}\ \theta$$

Tang. BFC ou MCI $= \dfrac{BC}{BF} = \dfrac{\text{cot.}\ \theta}{\frac{1}{2}\,\pi}$ tang. de l'angle hélicoïdal de l'intrados (c'est-à-dire l'angle de l'inclinaison sur l'axe des hélices de l'intrados) ; et par les triangles semblables,

$$CB : BF :: BF \text{ ou } MI : CM,$$

C'est-à-dire $2\,r\ \text{cot.}\ \theta : \pi r :: \pi r : \dfrac{\pi^2 r}{2\ \text{cot.}\ \theta} = CM$ pas de l'hélice :

$$\text{(Fig. 6)} \qquad SO \text{ ou } RQ = \pi\,(r + e)$$

$\dfrac{RQ}{CM} = \dfrac{\text{cot.}\ \theta}{\frac{1}{2}\,\pi}\left(\dfrac{r+c}{r}\right) =$ tang. de l'angle hélicoïdal de l'extrados.

$$PL = e\ \text{cot.}\ \theta.$$

Maintenant la tangente du petit arc Lk qui est retranché du développement par la ligne PQ, sera :

$$\text{cot.}\ \theta \times \frac{\text{cot.}\ \theta}{\frac{1}{2}\,\pi}\left(\frac{r+e}{r}\right) = \frac{\text{cot.}^2\,\theta}{\frac{1}{2}\,\pi}\left(\frac{re+^2}{r}\right) = Lk$$

fig. 6, ou Gk (fig. 7) ;

$$\left.\begin{aligned} CB &= r\ \text{cos.}\ ec\ \theta \\ BG &= e\ \text{cos.}\ ec\ \theta \end{aligned}\right\}\ \text{fig. 7,}$$

---

tuer le rapport des sinus à celui des arcs, et alors on retombe précisément sur la condition à laquelle doivent satisfaire les arcs L, L'.... pour que les droites, passant par l'extrémité de ces arcs et l'extrémité de l'arc a sur le cercle intérieur, aillent passer toutes au point O.

et par les triangles semblables,

$$BG : Gk :: BC : CO$$

$$\text{ou } e \text{ cos. } ec\,\theta : \frac{\text{cot.}^2\,\theta}{\frac{1}{2}\pi}\left(\frac{re+e}{r}\right) :: r \text{ cos. } ec\,\theta :$$

$$\frac{cot.\,\theta}{\frac{1}{2}\pi}(r+) = CO.$$

Si nous examinons la valeur de CO, nous voyons qu'elle est équivalente à r cot. $\theta \times \frac{cot.}{\frac{1}{2}\pi} . \frac{r+e}{r}$ c'est-à-dire qu'elle est égale au rayon multiplié par la cotangente de l'angle d'obliquité du pont et par la tangente de l'angle hélicoïdal de l'extrados $\left(\text{qui est } \frac{cot.\,\theta}{\frac{1}{2}} . \frac{r+e}{r}\right)$; et si nous désignons ce dernier angle par x, l'expression de CO peut être écrite ainsi qu'il suit :

$$CO = r\ cot.\,\theta\ tang.\ x$$

De plus CO est aussi égal à $(r+e)$ $cot.$ $\theta \frac{cot.\,\theta}{\frac{1}{2}\pi}$, c'est-à-dire au rayon extérieur du cylindre multiplié par la cotangente de l'angle d'obliquité du pont et par la tangente de l'angle hélicoïdal de l'intrados, et si nous appelons ce dernier p, l'expression de CO peut être écrite ainsi : CO $= (r+a)$ $cot.$ 0 $tang.$ p. Ces expressions sont générales, c'est-à-dire qu'elles sont applicables aussi bien aux segments du cercle qu'au demi-cercle, et elles sont d'un usage très-étendu, ainsi que nous le ferons voir par la suite.

La distance CO peut être déterminée géométriquement ainsi qu'il suit : dans le triangle rectangle ABC (fig. 30, pl. 3), dont l'angle droit est en B, faites AB $= r+e$, tirez AC, faisant avec BC un angle ACB $= 0$, ensuite tirez la ligne indéfinie BD faisant l'angle CBD $= p$, et menez CD perpendiculairement à BC et coupant BD en D, alors CD $=$ CO, fig. 7.

Après avoir déterminé ce point que nous nommerons le

foyer, pour le distinguer plus facilement, et la distance CO l'excentricité des joints de tête, il est évident que le développement demandé sera CF, dans la figure 5, et les formules pour trouver les ordonnées de cette courbe seront données plus loin.

En faisant un dessin à l'échelle de un douzième, on arrive à rendre sensible la courbure des joints de la tête de la voûte, on décrit une demi-ellipse passant par le milieu de l'épaisseur de la voûte, en mettant $r+\frac{1}{2}e$ au lieu de $r+e$ dans le second facteur de la première expression de la valeur de l'excentricité CO, au moyen de laquelle ces points intermédiaires peuvent être obtenus.

Les formules précédentes, ainsi que la propriété dont il vient d'être parlé, ne sont relatives qu'aux arches demi-cylindriques, ou dont la section droite est un demi-cercle. Nous allons étudier celles qui sont de forme segmentale.

Soit, fig. 8, AB la corde du segment du cercle, et ACB l'angle d'obliquité; prenons BC égal à la longueur de l'arc ABP, et perpendiculaire à BG, menons la ligne GC, qui correspond à CF dans la figure 5, et qui, dans toutes les deux, se nomme le développement de l'hélice des joints de tête. Cette ligne est celle qui doit être divisée en un certain nombre de parties, égal à celui des voussoirs, et à laquelle la direction du développement des joints continus est perpendiculaire.

Tirons maintenant la ligne GH perpendiculairement à GC, jusqu'à la rencontre de la ligne CH menée parallèlement à BL, traçons en outre la ligne HL perpendiculaire à BL, alors GL est la longueur ou (par analogie) le pas de l'hélice qui enveloppe la surface du segment cylindrique APB, et GH est son développement.

Soit le rayon du cylindre. . . . . $= r$
Son épaisseur égale. . . . . $= e$
La corde du segment. . . . . $= c$
L'arc dudit segment. . . . . $= a$
L'angle d'obliquité . . . . $= \theta$
3,14159. . . . . $= \pi$

Alors $BG = c \cot. \theta$
$BC = a$

$\frac{BG}{BC} = \frac{c}{a}\, cot.\, \theta =$ *tang.* de l'angle hélicoïdal de l'intrados, et par la similitude des triangles,

$$BG : BC :: BC \text{ ou } LH : GL.$$

C'est-à-dire : $c\, cot.\, \theta : a :: a : \frac{a^2}{c\, cot.\, \theta} =$ la longueur ou le pas de l'hélice du segment.

Complétons actuellement le demi-cercle DAPBE, prenons EF égal au développement de cette demi-circonférence πr, et tirons EK parallèlement à GH jusqu'à la rencontre de la ligne FK menée parallèlement à EI, cette dernière ligne EI est la longueur ou le pas de l'hélice intradossale du demi-cercle, l'inclinaison sur l'axe de cette hélice étant égale à celle de l'hélice du segment, les angles hélicoïdaux LGH, IEK sont égaux. Prolongeons EF jusqu'en M, en prenant $FM = \pi e$ ou $EM = \pi(r+e)$, tirons MN parallèlement à EI, cette ligne rencontrera IK prolongé en N, et enfin menons la diagonale EN; IEN sera l'angle hélicoïdal des joints continus sur l'extrados, EN est le développement de l'hélice extradossale correspondante à l'angle hélicoïdal LGH du segment cylindrique.

Maintenant nous avons par la similitude des triangles :

$$LH : LG :: IK : IE$$

Ou $a : \frac{a^2}{c\, cot.\, \theta} :: \pi r : \frac{a r \pi}{c\, cot.\, \theta} =$ la longueur ou le pas de l'hélice du demi-cylindre correspondant à l'angle hélicoïdal du segment.

$$\frac{IN}{IE} = \pi(r+c) + \frac{a r \pi}{c\, cot.\, \theta} = \frac{c\, cot.\, \theta}{a}\left(\frac{r+e}{r}\right) =$$

la tang. de l'angle hélicoïdal de l'extrados.

Maintenant si nous substituons la valeur de la tang. de l'angle extradossal à la place de celle employée précédemment dans la formule relative au demi-cercle, nous avons

$$c\, cot.\, \theta \times \frac{c\, cot.\, \theta}{a}\left(\frac{r+e}{r}\right) = \frac{c\, cot.^2 \theta}{a}\left(\frac{re+e^2}{r}\right) = Gk \text{ fig. } 7,$$

$$\text{et} \quad c\ cos.^{\cdot}c\,e\,\theta : \frac{c\ cot.^2\theta}{r}\left(\frac{re+e^2}{r}\right) :: e \times e\,\theta\ cosec.\,\theta$$

$$: \frac{c\ cot.^2\theta}{a}(r+e) = C\,O =$$

l'excentricité ou la distance focale au-dessous de l'axe du cylindre dans le segment oblique.

Il est nécessaire de faire remarquer maintenant que, dans la construction d'un pont biais, il arrive quelquefois, sinon généralement, que l'angle des joints continus, déterminé par les formules et méthodes précédentes, ne peut être adopté rigoureusement, et cela par les raisons suivantes : il peut arriver que la ligne menée à angle droit sur CF, fig. 5, par le point C, ne passe pas par un des points de division de la développée D G à l'autre tête de l'arche, alors il faut changer un peu la direction de la ligne C K en ouvrant ou ressorrant l'angle M C I de manière à la faire passer par celui des points 1. 2. 3. de division qui s'en éloigne le moins. Il est donc indispensable de calculer exactement la longueur DK mesurée sur la spirale de la tête DG, et de s'assurer qu'elle contient un nombre entier de divisions 1. 2. 3. 4., c'est-à-dire que la distance DK peut être divisée par l'épaisseur d'un voussoir sans laisser de reste.

Soit $CL = b$ la largeur de l'arche, et, fig. 5, l'angle $BFC = DCK = \beta$. Alors $b\ cos.\ ec\theta = CD =$ la longueur de la ligne de naissance ; et $b\ cos.\ ec\theta\ sin.\ \beta = DK$, maintenant CF étant divisé en un certain nombre de parties égales m, $\frac{CF}{m}$ sera une de ces parties, et par conséquent DK divisé par $\frac{CF}{m}$, ou $\frac{m\,DK}{CF}$ doit être un nombre entier pour qu'on ne soit pas obligé de modifier l'angle DCK ; mais si DK n'était pas divisible par $\frac{CF}{m}$, alors DK devrait être augmenté ou diminué d'une quantité qui la rendît divisible par ce nombre ; représentons par h cette quantité, qui ne pourra jamais être plus grande que $\frac{1}{2}\,\frac{CF}{m}$, le côté DK deviendra $DK \pm h$, et l'angle DCK résultera du nouveau triangle CKD, qui n'est plus rectangle, mais dans lequel on connaît deux côtés CD et $DK \pm h$, ainsi que l'angle compris CDK qui est resté invariable et qui est égal à $90° - BFC$. L'angle hélicoïdal à

adopter pour l'intrados étant donné à l'aide des méthodes bien connues de la trigonométrie, nous allons chercher l'angle correspondant de l'extrados, et d'abord il faut trouver la longueur ou le pas de l'hélice faisant avec l'axe du cylindre le nouvel angle intradossal, que nous nommerons β_2.

Alors $\pi\, r\, cot.\, \beta_2 = CM$, le pas de l'hélice tracé sous ce nouvel angle.

Fig. 6, $\frac{RQ}{CM} = \frac{\pi(r+e)}{\pi r\, cot.\, \beta^2} = \frac{r+e}{r} \cdot \frac{1}{cot.\, \beta^2} = tang.\, \varphi$, en nommant φ l'angle de l'extrados.

La grandeur de l'angle DCK, fig. 5, ayant été altérée, il s'ensuivra une altération correspondante de l'excentricité CO, fig. 7, que l'on peut calculer ainsi qu'il suit : dans la figure 6, $Pl = e\, cot.\, \theta$

$$Lk = e\, cot.\, \theta\, tang.\, \varphi = Gk \text{ fig. } 7$$

alors, nous avons encore comme précédemment

$$BG : Gk :: BC : CO$$

ou $e\, cosec.\, \theta : e\, cot.\, \theta\, tang.\, \varphi :: r\, cosec.\, \theta : r\, cot.\, \theta\, tang.\, \varphi = CO$ qui représente la nouvelle distance focale ou l'excentricité; et cette expression est générale, elle s'applique soit au segment circulaire, soit au demi-cercle complet.

CHAPITRE III.

Manière de travailler les voussoirs, etc...

Nous allons maintenant donner quelques détails sur la manière de tailler les voussoirs. Attendu que la hauteur d'une pierre, ou la largeur de son lit, est toujours beaucoup plus grande que l'épaisseur de sa douelle. Il est préférable de commencer par travailler le lit. Les lits des voussoirs sont des portions de la surface spirale BHMC, fig.2, et par conséquent consistent en ce qu'on nomme ordinairement une *surface gauche*. Le moyen d'obtenir de tels joints est familier aux ouvriers; on y parvient en plaçant à une distance déterminée, deux règles dont l'une a ses côtés parallèles et l'autre divergens, et en les noyant dans un trait taillé dans la pierre, jusqu'à ce que leurs côtés supérieurs se trouvent dans un même plan, alors les côtés inférieurs se trouveront dans la surface gauche, formant le joint : cela fait, les parties excédantes de matière, sur les autres points du lit, seront coupées jusqu'à ce que une ligne droite, appliquée et glissant sur les deux traits parallèlement à la douelle, coïncide partout avec la surface gauche.

Indiquons maintenant le moyen d'obtenir les dimensions de ces règles. Les côtés de la règle divergente, *ou de la règle gauche, comme la nomment ordinairement les ouvriers*, sont divergents : reportons-nous à la figure 8 qui s'applique également à l'arc demi-circulaire et à l'arc segmental. L'angle intradossal est IEK, l'angle extradossal est IEN, et leur différence, ou KEN, est l'angle de gauche de la surface du joint, et KO, tirée perpendiculairement à EK, est la tangente de cet angle, rapportée au rayon EK pris pour unité. Ensuite, EK et EN sont respectivement la sécante des angles IEK et IEN, rapportées au rayon EI pris pour unité. Maintenant, après avoir fixé la distance à laquelle il est convenable d'appliquer les règles, on trouvera la différence de largeur des deux extrémités de la règle gauche ainsi qu'il suit, en nous reportant encore à la figure 8. Soit l la distance sur la douelle EK à laquelle elles doivent être appliquées l'une de l'autre, soit l'angle KEN $= \delta$; alors l tang. δ sera la quantité dont la largeur d'une extrémité de la règle gauche excède celle de

l'autre, la longueur de cette règle étant égale à e ou à la hauteur du voussoir, *ni plus ni moins* (1).

Ces règles sont représentées par les figures 0 et 10. La figure 9 donne la règle à côtés parallèles, la figure 10 la règle à côtés divergents. Leurs longueurs AB, fig. 9, et A_2B_2, fig. 10, doivent être égales à e, la hauteur du voussoir. Les largeurs AC, BD, fig. 9, et A^2E, fig. 10, doivent être égales entre elles (c'est ordinairement trois pouces), et l'autre extrémité de la règle divergente B_2G, fig. 10, doit être augmentée de la quantité $FG = l$ tang. δ.

Ces règles étant appliquées sur le lit de la pierre en mettant les extrémités d'égale largeur à la distance l mesurée

---

(1) L'auteur prend pour la différence de largeur, des deux extrémités de la règle gauche, la différence des arcs elliptiques tracés sur l'extrados et l'intrados, par un plan perpendiculaire à l'hélice intradossale, les arcs étant comptés à partir du point où le plan sécant rencontre les lignes de naissance, tant à l'extrados qu'à l'intrados, ou bien du point où la ligne O K (fig. 8), prolongée dans le sens OK, irait rencontrer EI. Il serait peut-être plus rigoureux de prendre la tangente de la différence des arcs circulaires I N — I K.

Ainsi, en nous reportant à la figure 2, supposons que (2, 3) soit l'intervalle l entre les règles, mesuré sur l'hélice intradossale ; désignons par a l'arc 2, 3, sur la section droite correspondant à l, en menant par le point 3 une parallèle (3, m) à Cb, et élevant une perpendiculaire d en m, jusqu'à la rencontre du prolongement de Ce, nous avons $\frac{d}{e} = \text{tang.} \left(\frac{a}{\frac{\pi r}{180}}\right)$ d'où $d = e \text{ tang. } \frac{180 . a}{\pi r}$ en désignant par β^2 l'angle hélicoïdal de l'intrados, nous avons $l \cos. \beta^2 = a \cos. \beta^2$ d'où $a = l \text{ tang. } \beta^2 \cos. \beta^2 = l \sin. \beta^2$. Donc $d = e \text{ tang.} \left(\frac{l \sin. \beta^2}{\left(\frac{\pi r}{180}\right)}\right)$

$l \sin. \beta^2$ est la projection sur IN de l (mesurée sur EK) (fig. 8).

Il est à remarquer que cette différence est ainsi calculée, en supposant que les deux règles se trouvent maintenues dans les plans des sections droites espacées de $l \cos. \beta^2$, suivant l'axe, tandis que l'auteur suppose que les règles sont maintenues dans des plans normaux à la spire intradossale, plans qui ne sont pas parallèles.

Pour maintenir facilement les règles dans les sections droites, il faudrait augmenter la largeur de la partie rectangulaire de la règle divergente d'une quantité égale à r (cos. BC2) — cos. (BC2 + 2C3), et clouer les deux règles à angle droit sur une planche ayant $l \cos. \beta^2$ de largeur ; mais il faudrait alors plusieurs gabarits ainsi construits; il vaut mieux ramener le plan des règles dans le plan normal à l'hélice intradossale, ce qui n'empêche pas de calculer la divergence de la règle gauche, ainsi que nous l'avons fait.

sur le joint continu de l'intrados EK, fig. 8, la distance sur la ligne extradossale entre les deux autres bouts inégaux, coïncidant avec l'extrados, devra excéder l dans le rapport de EK à EN. L'angle définitif de l'intrados étant β_2 et l'angle correspondant de l'intrados φ, si nous nommons h la distance qui sépare sur l'extrados les deux bouts inégaux des règles, on a :

$$h = l\frac{sec.\,\varphi}{séc.\,\beta_2} = \frac{l\,cos.\,\beta^2}{cos.\,\varphi}.$$

La figure 11 fait voir les règles appliquées sur le lit de la pierre, dont CDEF est le joint à surface gauche ; AB est la règle parallèle ; et $A_2 B_2$ la règle divergente, la distance entre les deux extrémités A et A^2 sur la douelle est l, et la distance entre les extrémités B et B_2 est h calculée, par la formule que nous venons de donner.

Une pierre taillée par une extrémité suivant la règle divergente et par l'autre suivant la règle parallèle, comme la montre la figure, appartiendra à une voûte, dont l'obliquité est telle que si l'on se suppose placé sur l'axe du cylindre et qu'on regarde au travers de la voûte, l'angle aigu de la partie antérieure se trouvera à gauche, et pour plus de clarté dans la pratique, on dit habituellement qu'on pont de cette espèce est oblique à gauche. Nous ferons remarquer, à cette occasion, que tous les dessins précédents se rapportent à un point oblique à gauche, nous avons adopté cette uniformité pour éviter toute confusion.

Afin que les ouvriers ne puissent se tromper dans l'application des règles à la distance voulue, comme aussi pour éviter la sujétion de mesurer les intervalles extrêmes $A A_2$ $B B_2$, on les assemble quand on veut s'en servir, par deux petites tiges de fer, fixées chacune à demeure par l'une des extrémités à chacune des règles, tandis que l'autre bout de ces tiges porte un crochet de la forme ———⊸ qui est reçu à l'autre extrémité de chaque règle par un œil disposé à cet effet, de sorte que, ces baguettes ayant chacune la longueur voulue, les règles doivent nécessairement être espacées convenablement quand on ajuste chaque crochet dans l'œil qui doit le recevoir. La figure 11 représente ces tiges. Il est indispensable que ces dispositions soient bien comprises et exécutées avec le plus grand soin, sinon on ne parviendrait point à construire avec précision les voûtes d'une grande obliquité. Si les règles sont livrées aux ouvriers sans y avoir adapté les tiges qui fixent leur espacement, ils les appliqueront généralement parallèlement l'une à l'autre, et cela ren-

dra évidemment le gauche du joint plus grand qu'il ne doit être, et l'on ne poura plus mettre les voussoirs à leur place sans abattre les angles des lits, et alors la pression ne sera plus également répartie.

Après avoir taillé un joint, ainsi que nous venons de l'indiquer, il est facile d'obtenir la douelle; pour y parvenir, on doit construire un gabarit ainsi qu'il suit : prenez deux panneaux A D B, comme le montre la figure 12, dans laquelle AC est le rayon du cylindre, D B son épaisseur ou la hauteur des voussoirs. La planche formant la base A B des panneaux sera taillée suivant la courbure de la voûte, elle aura une longueur suffisante; BD sera égal à la hauteur des voussoirs, et les deux arêtes de cette planche iront se couper au centre du cylindre. Ces dispositions provisoires terminées, les deux panneaux d'abord appliqués exactement l'un contre l'autre, seront séparés, et l'on s'en servira pour construire un gabarit de la forme indiquée en perspective par la figure 13, dans lequel l'angle A C B devra être égal à l'angle IKE, fig. 8, qui est le complément de l'angle hélicoïdal de l'intrados. Les deux arêtes des faces BD et CE, fig. 13, du gabarit, ainsi construit, devront coïncider exactement avec la surface spirale de la pierre, lit que nous supposons avoir été préalablement taillé à l'aide des deux règles parallèles et divergentes. Plaçons maintenant la pierre de manière que la douelle se trouve par-dessus, renversons le gabarit et appliquons les tringles ou échasses BD et BC sur la surface déjà taillée du joint, faisons en même temps coïncider la lame flexible BC, fig. 13 et 14, avec l'arête de la douelle DF, fig. 14; enfin traçons sur la pierre une ligne suivant le côté AC, fig. 14, elle se trouvera nécessairement à angle droit sur l'axe du cylindre; traçons de même une autre ligne suivant le côté AB, elle sera parallèle à l'axe du cylindre; enlevons le gabarit et pratiquons, au moyen du ciseau, une rainure sur la douelle suivant la ligne CA, en l'approfondissant de manière à ce que le fond ait précisément la courbure de la pièce AC du gabarit; ajustez de même sur la ligne AB qui est parfaitement droite, le côté AB, de manière que lorsque les rainures ont atteint une profondeur convenable, le gabarit étant appliqué dessus, en ayant soin de faire coïncider les faces BD et DC sur le joint préalablement taillé, et la lame diagonale sur l'arête de la douelle DF, les côtés AC et AB devront être exactement et semblablement en contact sur tous les points. Les pièces segmentales, chacune à peu près de la longueur de C A, et ayant une courbure égale à celle du cercle du cylindre, comme les montre la fig. 15, peuvent immédiatement s'appli-

quer, l'une sur le trait AC et l'autre sur une ligne GH, fig. 14, placée à une certaine distance parallèlement à AC. Ces pièces segmentales doivent avoir exactement les mêmes dimensions, et l'on trace sur leurs faces un trait marquant leur milieu, comme l'indique la figure 15, en C. Ainsi préparées, on peut les appliquer, l'une dans la rainure AC, en faisant coïncider le point C avec la ligne IK parallèle à AB, l'autre sur la ligne GH, parallèle à GA, en faisant tomber aussi le point C sur la ligne IK; plus on pourra les éloigner, en satisfaisant aux conditions imposées, mieux ce sera. Le second segment devra alors être ajusté dans une rainure au ciseau, jusqu'à ce que le côté supérieur (celui en ligne droite) se trouve dans le même plan que le côté supérieur de l'autre segment placé dans la rainure AC. Ces préparatifs terminés, on enlèvera les parties excédantes de la pierre sur la douelle, jusqu'à ce qu'une règle bien droite puisse s'appliquer dans toute sa longueur sur la douelle en s'appuyant sur les traits de ciseau parallèlement à AB; quand on aura obtenu ce résultat, la douelle sera terminée. L'autre arête LM de la douelle devra être alors tracée et taillée parallèlement à DF, on retournera le gabarit, en appliquant les segments sur la douelle et l'on taillera l'autre joint de manière que les arêtes BD et CE puissent s'appliquer en même temps. On remarquera qu'ici nous procédons par une méthode inverse: au lieu d'obtenir la douelle en se dirigeant sur le joint, nous obtenons le joint en nous dirigeant sur la douelle en faisant coïncider exactement le segment CA et le côté AB avec la douelle et la diagonale flexible avec l'arête LM. Traçons maintenant des rainures au ciseau sur le second joint de la pierre jusqu'à ce que les côtés BD et CE du gabarit s'y appliquent exactement en même temps que les autres parties posent sur la douelle. Ces rainures détermineront la surface gauche de ce joint, de même que les rainures obtenues par les règles divergente et parallèle ont déterminé celle du premier joint, on en fera donc un usage absolument semblable pour la taille dudit joint.

Les extrémités de tous les voussoirs, excepté ceux qui forment le parement de tête de la voûte, ont l'arête FL et DM, fig. 14, de la douelle carrément sur les arêtes correspondantes des joints continus, et les bouts de la pierre, ordinairement appelés joints de tête, sont taillés suivant la direction des pièces BD et CE du gabarit, fig. 13. Les arêtes normales à la douelle de ces deux joints ayant été ainsi déterminées au moyen du gabarit, on taillera ces joints en appliquant une règle droite de l'une à l'autre et la tenant parallèle à FL ou DM,

ces joints auront ainsi une surface gauche telle que tous les voussoirs s'appliqueront exactement l'un contre l'autre quand on construira la voûte.

Une des choses les plus difficiles à obtenir, dans la taille des pierres pour une voûte oblique, est de dresser le parement de celles qui forment la tête de la voûte avec une précision telle qu'on n'ait point à les retailler après qu'elles ont été mises en place. Nous allons essayer d'indiquer comment on peut parvenir à ce résultat, et nous espérons être aisément compris.

Dessinons de grandeur naturelle, sur une plate-forme préparée à cet effet, le développement de la tête de l'arche.

Le moyen d'obtenir ce développement, à l'aide de la projection, a été indiqué (*voir* fig. 4); la manière de tracer les joints continus a été également enseignée (*voir* fig. 5). Cependant il est admis qu'il est à peu près impossible d'obtenir cette courbe de grandeur naturelle au moyen de sa projection, nous donnerons donc un peu plus loin un moyen de la tracer par les ordonnées; et nous supposerons pour le moment ce développement tracé, ainsi que l'indique la figure 19, où CD est une portion de la ligne de naissance, et CK la direction du premier joint continu, qui s'étend d'une tête à l'autre de la voûte; il détermine aussi ce que nous avons appelé l'angle hélicoïdal de l'intrados, ainsi qu'il résulte de ce qui précède; tous les autres joints 2, 3, 4, 5, etc., lui sont parallèles.

On remarquera que les arêtes des voussoirs de tête résultant de l'intersection de la douelle avec le plan de tête ne sont pas à angle droit sur les joints continus, et c'est au moyen de ce développement que nous nous proposons d'obtenir ainsi qu'il suit, la grandeur exacte de l'angle de douelle de chaque pierre. Supposons que l'on veuille avoir la douelle du neuvième voussoir, celui compris entre le neuvième et le dixième joint; prenons une feuille de tôle de longueur quelconque et d'une largeur égale à celle des cours mesurée sur la douelle, appliquons-la sur la ligne *ac* qui figure le neuvième joint, et en même temps sur la ligne *bd* qui figure le dixième, et découpons-en l'extrémité suivant la portion de courbe comprise entre les lignes *ac* et *bd*. Cela fait, appliquons cette feuille de tôle sur la douelle du neuvième voussoir (que nous supposons préalablement taillé sur toutes ses faces, excepté le parement de tête) et traçons-y la ligne *ab* qui sera l'arête de la douelle du voussoir. La courbe est si peu sensible sur la largeur *ab*, que dans la pratique il est suffisamment exact de se servir d'une fausse équerre dont on met l'un des côtés

ar *ac* et l'autre sur *ab*, au lieu d'une feuille de tôle flexible (1). Maintenant, pour obtenir la direction du joint sur la tête de la voûte, dessinons de grandeur naturelle, sur une plate-forme, la moitié de l'élévation de la voûte, fig. 20, ainsi que

(1) Pour obtenir l'angle que le joint de tête *ef* (fig. 20) fait avec la génératrice du cylindre, il faut commencer par déduire de la connaissance de l'ouverture de la section elliptique et de celle du rayon du cercle, l'obliquité de la voûte. Soient, en plan C A et C B (fig. 20 *bis*) ces deux grandeurs, puisque le rayon est perpendiculaire à la ligne de naissance, il n'y a qu'à décrire, du point C comme centre, et du rayon C B, un arc de cercle auquel nous mènerons une tangente du point A, et A E sera la direction des culées. Toutes les génératrices du cylindre se projettent horizontalement suivant des parallèles à cette ligne.

L'angle que le joint *ef* fait avec la génératrice passant par le point *e*, se trouve dans le plan déterminé par cette dernière ligne et le joint *ef* lui-même; ce plan passe par le foyer O, et trace sur le plan vertical passant par l'axe du cylindre, une ligne horizontale, lieu géométrique des foyers, parallèle aux génératrices, et qui se projette sur C C horizontalement. Pour avoir l'angle cherché, nous n'avons qu'à rabattre le plan qui le contient sur le plan horizontal, en le faisant tourner autour de la ligne C C comme charnière. Supposons que le point *e* (fig. 20) se projette horizontalement en *h* (fig. 20 *bis*); *hi* sera la projection de la génératrice passant par le point *e*. Dans le mouvement du plan, cette ligne restera parallèle à C C, ce point viendra tomber quelque part sur la trace *he* du plan vertical passant par le point *h* perpendiculairement à l'axe du cylindre, de même le point *g* restera dans le plan vertical C E et viendra tomber en *k* à une distance C *k* =O *g* (fig. 20 *bis* et 20), menant par le point *k* la parallèle *ke* à A E, le point *e* (fig. 20 *bis*) sera le rabattement de *e* (20), et C *e* (20 *bis*) sera la ligne O *e* (20); par conséquent, l'angle *fek* est l'angle cherché. (Cette construction est la même que celle indiquée par l'auteur, mais il y a dans la figure 20 une ligne mal indiquée : ce n'est pas du point *h* qu'il faut abaisser une perpendiculaire sur C E, c'est du point où la verticale abaissée du point *e* rencontre C A). On obtiendra de même les angles correspondants aux autres joints de tête. On remarquera que l'angle *fek*=*fe* E; par conséquent, après avoir mené les parallèles *he* à C E, il suffira de marquer sur ces parallèles les points *e* en décrivant du point C un arc de cercle comme centre, et avec un rayon recteur O *e* (fig. 20). Le plus grand de ces angles correspond au premier joint; il est égal à *f′ e″ k′*; ils vont toujours en diminuant d'un côté à l'autre de l'ellipse de tête; au sommet, l'angle devient droit, puis aigu et égal au supplément de *fek*, pour les points situés à même hauteur de chaque côté du petit axe.

La figure 20 *bis* donne les rayons recteurs C*e* de l'ellipse de tête, en joignant les points et E′ C, ce qui peut servir de vérification pour l'exactitude de la figure.

Il s'agit maintenant de trouver l'angle que le joint de tête *ef* fait avec la spire du joint longitudinal, ou plus exactement, avec la tangente à cette courbe au point *e*. Cette tangente se trouve dans le plan tangent au cylindre suivant la génératrice *eg* (fig. 20), ou *ek* (fig. 20

nous l'avons indiqué précédemment. Dans cette figure A C est la moitié de l'ouverture oblique, C D est le rayon du cylindre, et C O est l'excentricité, O étant le foyer de la tête, vers lequel tous les joints convergent. Décrivons le quart du cercle B E D, et menons la tangente A E et le rayon E C.

Supposons maintenant que l'on veuille obtenir l'angle que le joint *a c*, fig. 19, fait avec le joint de tête correspondant *e f*, fig. 20 : du point *e*, fig. 20, menez *e g* parallèlement à A C, coupant l'arc B E D en un point *g*. Du point *g*, abaissons une perpendiculaire sur A C, et du point *h* menons *h i* perpendiculaire à E C. Avec la distance O *g* comme rayon, et du point O, comme centre, décrivons l'arc indéfini *g k*, et avec la distance *h i* comme rayon décrivons du point *e* comme centre un autre arc acoupant *gk* en un point *k*. Tirons la droite *k e l*. L'angle *k e f* est celui que le joint *e f* fait avec une ligne menée sur l'intrados parallèlement à l'axe ; ou, ce qui revient au même, avec la génératrice horizontale du cylindre. Mais le joint *ac*, fig. 19, a une inclinaison sur l'axe égale à l'angle hélicoïdal K C D de l'intrados, par conséquent tirons la ligne droite *n e m*, fig. 20, telle que l'angle *k e m* soit égal à l'angle K C D, fig. 19; ensuite abaissons la perpendiculaire *f p* sur *k e l*, elle la coupera en un point *p* et rencontrera la droite *n e m* en un point *q*. Tirez parallèlement à *k e l* la ligne indéfinie *q r*. Avec la distance *p f* comme rayon et du centre *p* décrivez l'arc *f r*, coupant *q r* en un point *r*, avec *e f* comme rayon et du centre *e* décrivez l'arc indéfini *f u t*, et avec

bis), et, de plus, elle fait avec cette génératrice un angle égal à l'angle hélicoïdal de l'intrados. Si nous ramenons donc le plan tangent dans le plan C *e k* (fig. 20 *bis*) en le faisant tourner autour de *e k* comme charnière, la tangente à l'hélice viendra se rabattre sur la ligne *e l*, si *l e k* est égal à l'angle hélicoïdal de l'intrados. La question est donc ramenée à trouver la troisième face d'un angle trièdre dont on connait deux faces, *f e k*, *l e k*, et l'angle qu'elles font ; cet angle est égal à celui que fait la tangente au cercle, en *g*, avec le rayon vecteur O *g* ; ou bien il est égal à 90° plus l'angle O *g* C (fig. 20). Pour déduire de ces données l'angle cherché, abaissons du point *f* sur *e k* prolongé une perpendiculaire *f m n*, qui coupe le prolongement de *l e* en *n*, faisons l'angle *f m p* égal à 90° + O *g* C, reportons *n* en *n'*, le triangle *f m n'* est la section de l'angle trièdre par le plan *f n* perpendiculaire au plan *f e k* ; ce plan détermine sur la face *f e k*, prolongée au-dessous de *f e*, un triangle dont la base est *f e*, l'un des côtés *f n'*, et l'autre *e n* ; en décrivant des points *f* et *e* des arcs de cercle avec les côtés respectifs, l'angle *f e q* sera celui que le prolongement de la tangente à l'hélice fait avec *f e* ; par suite, *f e s* sera l'angle cherché. Ces angles vont aussi en diminuant de gauche à droite ; celui au sommet est droit.

qr du centre *q* décrivez l'arc *rus*, coupant *fut* en *u*. Par les points *u* et *e* menez une droite, *nem* sera l'angle que la tangente au joint continu fait avec le joint de tête du côté obtus de la voûte, et *neu* sera l'angle correspondant au côté aigu.

Mais la ligne *nem* étant la tangente à la spirale au point *e*, il faut tenir compte de la courbure, ou de la quantité dont la tangente s'éloigne de l'hélice pour la longueur du voussoir; on obtient cette quantité ainsi qu'il suit :

Supposons que l'on veuille trouver la longueur de la pièce du gabarit qui s'applique sur le joint continu de la douelle pour une longueur donnée de voûte, telle que C B dans la figure 21, où l'angle D C K est l'angle hélicoïdal de l'intrados. Tirez la ligne A B perpendiculaire à l'imposte ou ligne de naissance C D. Le développement A B de la portion de l'arc circulaire compris dans la largeur du voussoir dont la longueur est C B, sera reporté sur l'arc A B, fig. 22, et la quantité cherchée sera précisément le sinus verse A *d* ou son équivalent *e*B.

Soit l'angle D C K $= \beta$, dans la fig. 21.
Et $CB = L$,
Alors $AB = L \sin. \beta$;

Avec un rayon égal à C D dans la figure 20, et du point C comme centre, dans la figure 22, décrivons un arc indéfini A B D, sur lequel nous prendrons $AB = L \sin \beta$, nous mènerons ensuite la perpendiculaire B *d* au rayon A C, et A *p* ou *c*B sera la quantité cherchée. πr étant la longueur du demi-cercle, nous avons la proportion :

$$\pi r : 180^\circ :: L \sin. \beta : ACB.$$

En nommant *d* cet angle, on a *r* sin. verse P $= d$A ou *e* B.

Faisons maintenant chacune des distances *ev* et *ew*, dans la figure 20, égale à C B dans la figure 21, et prenons *vx* et *wy* respectivement égales à A *d*, fig. 22, menons un arc de cercle (1) par les points *x e y*, et l'angle *x e u* sera celui du voussoir à angle obtus, et *y e n* celui du voussoir à angle aigu. Ces dernières lignes *x e y* et *e n* devront toujours être tracées distinctement sur la plate-forme, à chaque joint, ce

(1) Cette courbe est une portion de la projection de l'hélice que constitue le joint continu; mais cette portion est trop petite pour qu'elle diffère d'une quantité appréciable d'un arc de cercle.

sont elles qui fixent l'ouverture du beuveau qui sert à tailler le parement de tête.

Nous ferons remarquer que bien qu'on ait tiré un grand nombre de lignes pour obtenir ce joint, il y en a plusieurs qui sont communes à tous, et, dans la pratique, il n'est pas nécessaire de tirer celles qui ne sont pas communes, mais seulement de relever les distances équivalentes, on abrège ainsi le temps, et le dessin est beaucoup plus distinct.

Il faut faire voir maintenant comment on peut obtenir le développement de la figure 19, sans projection, ainsi que l'indique le chapitre 1, fig. 4.

Suit A *ab*, fig. 23, la demi-voûte circulaire, dont l'angle d'obliquité est BDC, et supposons que l'on veuille tracer le développement D*e*E au moyen des ordonnées obtenues par le calcul.

Divisons l'arc AB en un certain nombre de parties égales, et son développement BE en un même nombre de parties. Soit *a* une des divisions de l'arc, et *b* la division correspondante sur le développement, de sorte que E*b* = A*a*.

Ainsi, soit AC le rayon $= r$

$ACa = e$

$CDB = \theta$

$BED = \beta$

$Cc = r \sin. e$

$cd = r \sin. e \cot. \theta = be$

$Eb \operatorname{tang.} \beta = bf$

$be - bf = fe$

Ayant ainsi trouvé un nombre suffisant de distances *fe*, correspondant à un nombre égal de divisions de l'arc AB, ou de son développement BE, et aussi de DE, divisons cette dernière ligne en un même nombre de parties égales (ainsi que l'indique la figure 19 *e*, *f*, *g*, *h*, etc... A*e'*, *f'*, *g'*, *h'*, etc.).

Par chacune des divisions menons les ordonnées *fe*, fig. 23, faisant toutes l'angle D*fe* égal à DEB qui est l'angle hélicoïdal de l'intrados dont il a déjà été question, et sur ces ordonnées appliquons les quantités telles que *fe*, préalablement calculées, la courbe D*e*E, tracée suivant les points ainsi obtenus, sera le développement cherché.

La figure ne donne qu'une moitié du développement, parce que les ordonnées pour la seconde moitié sont égales à celles de la première, mais elles sont portées de l'autre côté de la ligne DE, et dans un ordre inverse.

CHAPITRE IV.

Application des formules précédentes.

Après l'exposition des principes précédents, leur application à un ou deux exemples pratiques facilitera beaucoup l'intelligence de cette théorie.

Supposons qu'il s'agisse de construire un pont de 10m.058 d'ouverture droite (mesurée perpendiculairement aux culées), pour faire passer un chemin de fer sur une rue ou sur une route, à une hauteur telle que l'on puisse adopter sans inconvénient le plein cintre pour section droite, et que l'angle formé par la direction du chemin avec celle de la route soit de 50°. Supposons également que la largeur hors-œuvre du pont, ou d'une tête à l'autre, soit de 9m.449, et que l'épaisseur de la voûte, ou la hauteur des voussoirs, dans la section droite, soit de 0m.762; le développement et l'élévation représentés par les figures 19 et 20, sont relatifs à ces dimensions.

Exemple I.

Dimensions d'un pont en plein-cintre, de 10m.058 *d'ouverture et oblique à* 50°, *pour le passage d'un chemin de fer sur une route* (1).

	m
Le rayon du cylindre $r =$	5.029
Épaisseur du cylindre $e =$	0.762
Largeur hors œuvre, C L ou b, fig. 5.	9.449
Ouverture droite AB.	10.058
Ouverture oblique AC $= 2\,r$ cosec. $\theta =$ 10.058 $\times$ 1.3054 $=$	13.130

(1) La voûte du viaduc de Watfort, sur le chemin de fer de Londres à Birmingham, est à peu près de ces dimensions : c'est un demi-cercle dont le diamètre a 12 mètres, et le plan des têtes fait avec l'axe du cylindre un angle de 35°.

Les dimensions ci-dessus données sont celles d'un pont dont le projet a été fait et envoyé par l'auteur à Saint-Pétersbourg ; il est exactement représenté sur les dessins des figures 17, 18, 24, 25.

Obliquité de la voûte BC $= 2r$ cot. $\theta = 10.058$
$\times 0.8391 =$ 8.439

Longueur de l'arc BF $= 3.1416 \times 5.029$. 15.791

$$\text{Tang. BFC} = \frac{\cot.\theta}{\frac{1}{2}\pi} = \frac{0.8390996}{1.5708} = 0.5341861$$

$$= \text{tang. } 28°, 6', 37'' = \beta.$$

Longueur de l'hélice de tête, celle à laquelle les joints de tête sont perpendiculaires,

FC $= \pi r$ séc. $\beta = \pi r \times 1.1337324 =$. 17.912

Nous prendrons le nombre de voussoirs égal à 47.

L'épaisseur des voussoirs sera donc $\frac{17.912}{47} =$ 0.381

Longueur des culées CD $= b$ cosec. $\theta = 9.449$
$\times 1.3054 =$ 12.335

Divergence des joints continus,

DK $= b$ *cosec.* θ *sin.* $\beta = 12.335 \times 0.47117 =$ 5.812

Cette distance : 5,812 ne correspond point à un nombre entier de voussoirs, mais on trouve immédiatement, en essayant la division par 15, que le quotient est plus grand que 0,381; le nombre de cours venant se terminer à la naissance CD sera fait égal à 15. Maintenant l'angle théorique DCK, fig. 5, doit être diminué de manière que la ligne CK vienne coïncider avec le joint du quinzième voussoir que l'on obtient en prenant DK $= 15 \times 0,381 = 5,711$.

Nous avons :

$$\frac{DK}{CM} = \frac{5.711}{12.335} = 0.4634767 = \sin.\ \beta = \sin.\ 27°, 36', 42''$$

Tang. $\beta_2 =$ 0.5230466

C'est en prenant cet angle que l'on devra calculer le pas de l'hélice, l'angle hélicoïdal de l'extrados, et l'excentricité du parement de tête,

CM = le pas de l'hélice résultant de cet angle,
$= \pi r$ *cot.* $\beta_2 = \pi r \times 1.9118755 =$ 30m.207

$\frac{RQ}{CM}$ (voir fig. 6) $=$ *tang.* φ ou tangente de

l'angle hélicoïdal de l'extrados $= \frac{\pi (r+r)}{CM}$

$= \frac{3.1416 (5.029 + 0.752)}{30.207} = 0.6023006$ *tang.* 31°, 3′, 38″

δ = différence des angles hélicoïdaux de l'extrados et de l'entrados = 31°, 3′, 38″ — 27°, 36′, 42″ =. . . . . 3°, 26′, 56″

Et *tang.* δ. 0.0602505

CO, (fig. 7), excentricité théorique

$= \frac{cot.^2 \theta}{\frac{1}{2}\pi} (r+e) = \frac{(0.8390997)^2 \times 5.791}{1.5708} =.$ 2m.596

Cette même excentricité calculée avec l'angle modifié par la formule $r\ cot.\ \theta\ tang.\ \varphi = 5.029 \times 0.8390996 \times 0.6023006 =$. 2m.542

Tang. φ peut être obtenue ainsi qu'il suit :

$$Tang.\ \beta_2 \frac{r+e}{r} = tang.\ \varphi.$$

Nous devons faire remarquer que la méthode suivie pour déterminer l'angle modifié DCK n'est qu'approximative, mais le plus souvent le triangle diffère si peu d'être rectangle, que cette approximation est bien suffisante.

Après avoir établi et disposé convenablement les calculs précédents, nous sommes en mesure de dresser tous les gabarits, règles, etc., nécessaires pour la taille des pierres.

Règles gauches.

La règle à côtés parallèles, fig. 9, doit avoir une longueur égale à l'épaisseur du cylindre, c'est-à-dire à 0m.762, sa largeur sera de 0m.076.

La règle à côtés divergents, fig. 10, doit avoir également 0m.762 de longueur, et 0m.076 de largeur du bout étroit, mais la largeur BG de l'autre bout dépend de la distance à laquelle on veut les placer l'une de l'autre; supposons que cet intervalle soit égal à 0m.914, alors l tang. δ = 0914 × 06025 = 0,055 = EG fig. 10; la largeur de cette extrémité de la règle sera donc de 0,076 × 0,055 = 0m.131 = BG.

La distance à laquelle les règles seront placées l'une de

l'autre étant de 0m.914, mesurée sur la douelle de la pierre, par ex. : du point A au point A_2, fig. 11, la distance entre les deux autres extrémités B et B_2, sera donnée par la formule.

$$l_2 = l \frac{séc. \varphi}{séc. \beta_2} = 0.914 \times \frac{1.16727}{1.12854} = 0^m.946$$

Le moyen le plus exact de tracer sur la douelle du voussoir les lignes parallèles et perpendiculaires à l'axe, fig. 14, est de se servir d'une équerre en tole mince, dont l'un des angles aigus est précisément l'angle hélicoïdal de l'intrados, ou l'angle A B C du gabarit, fig. 14, le côté A C sera tang. $\beta_2 = 0,61 \times 0,528 = 0^m.319$. Cette équerre est dessinée séparément dans la figure 15.

La longueur des culées sur lesquelles repose la voûte doit être divisée en quinze parties égales, et l'on y pratique autant de redans triangulaires, pour arcbouter les cours de voussoirs; les figures 17 et 18, pl. 8, font voir cette disposition : dans la première qui représente l'élévation de la culée, sur un plan parallèle à l'axe du cylindre, on remarquera que les petits triangles qui forment les redans ou échelons sont semblables à l'équerre de la figure 16, on les y trace avec cette équerre après avoir divisé la longueur de la culée en quinze parties égales, ainsi que nous l'avons déjà dit. On place l'hypothénuse de cette équerre sur la ligne A A', fig. 17, et l'on applique successivement les deux sommets B et C à chaque point de division, puis on trace les deux autres côtés. Le derrière des culées sera disposé exactement de la même manière, mais avec une équerre ayant un des angles égal à l'angle hélicoïdal de l'extrados. Cette équerre ayant 0m.61 pour longueur de base, devra avoir une hauteur égale $AC = 0,61 \times$ tang. $\varphi = 0,61 \times 0,6023 = 0,367$.

La différence des angles des deux équerres donnera précisément le gauche convenable à la surface du lit ou du joint transversal, sur le redan de la culée.

La poussée de la voûte est parallèle, du moins approximativement, au plan des lits, de sorte qu'elle doit être arcboutée dans cette direction, le derrière des culées sera donc consolidé par des contreforts verticaux, dont les faces latérales seront respectivement parallèles, et qui seront terminés vers les terres par des plans perpendiculaires à ceux des têtes de la voûte. Quand la paroi de derrière (ou du côté des terres) des culées est en briques, la largeur du contrefort, mesurée perpendiculairement à la poussée, devra être telle qu'on ne soit point obligé de couper les briques, c'est-à-dire qu'elle

devra correspondre à la longueur d'une brique ou d'une brique et demie, etc., suivant l'obliquité de la voûte. On voit dans les dessins des plans des culées, fig. 18, 24, etc., planches 3 et 3, les contreforts dont il est ici question.

Pour obtenir le premier joint de tête de la voûte, qui est le joint supérieur de l'extrémité des culées, c'est-à-dire BG, fig. 7, découpons une volige ou une tôle sous l'angle GBk $= CBO$ dont la tangente est $\frac{CO}{CB}$. Dans l'exemple traité

$$CB = \frac{13.130}{2} = 6^{m}.565, \text{ et } \frac{CO}{BC} = \frac{2.542}{6.565} = 0.3871$$

$$= tang.\ GBk.$$

De même $BG = e\ cosec.\ \theta = 0.762 \times 1.3034 = 0^{m}.995$ et $BG \times tang.\ GBk = Gk = 0.995 \times 0.3871 = 0^{m},385$.

Il ne nous reste plus maintenant qu'à déterminer les arêtes et les surfaces des joints des différents côtés des voussoirs; le moyen d'y parvenir a été expliqué dans le chapitre précédent; mais il est bon de faire voir ici comment on effectue le calcul des ordonnées au moyen desquelles on dessine le développement de la tête de la voûte.

Le développement fig. 19, est divisé en vingt parties égales par les points *e, f, g, h*, etc..., par conséquent la moitié de l'arc qui, dans ce cas, est un quart de cercle, se trouve divisé en dix parties égales, comprenant chacune un arc de 9° et correspondantes aux divisions *e, f, g, h*, etc.... de la première moitié du développement, fig. 19, et aux points *e', f', g', h'*, etc..., de l'autre moitié.

La table qui suit fait voir la manière d'appliquer les principes exposés, et l'usage des formules données à la fin du chapitre précédent.

Angles ACa ou ε	log. sin. ε	logar. de r cot. θ sin. ε ou log. b e.	VALEURS de b e.	VALEURS de b f.	ORDONNÉES f e ou b e — b f.
1	2	3	4	5	6
9°	9.194 3324	1.819 6275	0.660	0.422	0.238
18	9.489 9824	0.115 2775	1.304	0.844	0.460
27	9.657 0468	0.282 3419	1 916	1.266	0.650
36	9.769 2187	0.394 5138	2.480	1.688	0.792
45	9 849 4850	0.474 7801	2.984	2.110	0.874
54	9.907 9576	0.533 2527	3.414	2.532	0.882
63	9.949 8809	0.575 1760	3.760	2.954	0.806
72	9.978 2063	0.603 5014	4.010	3.376	0.634
81	9.994 6199	0.619 9150	4.168	3.798	0.370
90	10.000 0000	0.625 2951	4.220	4.220	0.000

Explication de la Table ci-dessus.

Le colonne n° 1 contient les différentes valeurs attribuées aux arcs dont on cherche les ordonnées correspondantes, et pour plus de facilité, nous avons divisé le quart de cercle en dix portions égales.

La colonne 2 donne les logarithmes des sinus des angles de la colonne 1.

La colonne 3 donne les logarithmes des lignes telles que $b\,e$, fig. 23, on les obtient en rajoutant log. r + log. $cot.\,\theta$ à chacun des nombres de la colonne 2.

$$\text{Dans le cas actuel } log.\ r = log.\ 5.029 = 0.7014816$$
$$log.\ cot.\ \theta = log.\ 50° = 9.9238135$$
$$log.\ r\ cot.\ \theta = 0.6252951$$

et ce log. ajouté à chacun de ceux de la colonne 2 donne les log. inscrits dans la colonne 3.

La colonne n° 4 donne les membres correspondants aux logarithmes de la colonne n° 3.

La colonne n° 5 contient les valeurs de $b\,f$ que l'on obtient très-aisément ainsi qu'il suit. Le développement BE du quart de cercle, fig. 23, étant divisé par dixième, les perpendicu-

laires bf divisent aussi DE en dixièmes, et les lignes fg, tirées des points d'intersection f, parallèlement á BE, divisent BD aussi en dix parties égales. BD est la demi-obliquité de la voûte qui est, ainsi que nous l'avons vu précédemment, égale à 8m.459; par conséquent BD = 4m.219, et les autres valeurs de bf sont respectivement égales à $\frac{1}{10}$, $\frac{2}{10}$, $\frac{3}{10}$, etc..., de 4m.22, ce qui est évident à la simple inspection de la colonne 5.

La colonne nº 6 contient la différence des nombres des colonnes 4 et 5 et donne les valeurs des ordonnées fc, qui, portées aux points de division de la ligne DF, fig, 10, sur des parallèles à l'axe du cylindre, donnent le moyen d'obtenir le développement de la courbe de la voûte dans le plan de tête.

Ce développement, pour être de quelque utilité pratique, doit être placé de grandeur naturelle sur une plate-forme; on ne peut l'obtenir exactement que par le calcul.

Exemple II.

Dimensions d'un pont de 9m.143 d'ouverture, construit sur une route, sous un angle de 30°.

	m.
Rayon du cylindre.	5.279
Epaisseur dudit cylindre.	0.914
Largeur hors d'œuvre.	9.449
Ouverture droite.	9.144
Ouverture oblique = c *cosec.* θ = 9.144 × 2 =	18.288
Obliquité de la voûte = c *cot.* θ = 9.144 × 1.732 =	15.837

Pour obtenir la longueur de l'arc de cercle de la voûte, remarquons que nous avons $\frac{4.572}{5.279}$ = 0.86606508 = sinus de la moitié de l'arc de la voûte = sinus 60°. 0'. 10", l'arc entier sera donc de (60°. 0', 10") 2 = 120°. 0'. 20".

La longueur de cet arc serait pour un rayon égal à l'unité, d'après les tables de Hutton, égale à 2.0944436, pour un rayon de 5.279, la même longueur sera de 9.0944 × 5.279 = ... 11.056

$$\text{Fig. 8. } \textit{Tang.}\ \text{BCG} = \frac{c \cot. \theta}{a}$$

$$= \frac{9.144 = 1.732}{11.056} = 1.43243 = \textit{tang.}(55^{\circ}4'.9'') = \beta$$

La longueur de la spirale de tête = a *sec.* β = 11.056 × 1.745.459 =. . . . .

Le nombre de voussoirs que l'on peut adopter sera de 51. Leur épaisseur sera donc de $\frac{19.39}{51}$ = à peu près. . . . .

La longueur des culées est b *cosec.* θ = 9.449 × 2 = 18 898

La divergence des assises = b *cosec.* θ *sin.* β = 9.449 × 2. × 0.8198438 =. 15.493

Cette longueur correspond à peu près à l'épaisseur de 41 voussoirs, ce sera donc le nombre des assises allant aboutir aux culées par une extrémité.

Nous prendrons donc pour divergence finale $\frac{19.309}{51}$ × 41 = ... 15.524

Si nous prenons cette longueur comme le sinus de l'angle hélicoïdal de l'intrados, rapporté à la longueur des culées comme rayon (*exemple* 1), nous avons $\frac{15.524}{18.898}$ = 0.8214516 = *sin.* β_2 = *sin.* (55°, 13', 40"), et le pas de l'hélice dont cet angle mesure l'inclinaison sur l'angle hélicoïdal de l'extrados, de même que la distance focale, seront calculés d'après la valeur de β^2.

Tang. de l'angle modifié, ou *tang.* β_2 = 1.4405351.
La sécante du même angle, ou sec. β_2 = 1.7535243;
le pas de l'hélice = a *cot.* β_2 = 11.056 × 0.694234. 7.675

Il faut remarquer que les tangentes trigonométriques des angles hélicoïdaux de l'intrados et de l'extrados, en prenant le pas de l'hélice comme rayon, sont respectivement le développement de l'arc des sections droites de l'intrados et de l'extrados. Lors donc que l'on a une de ces tangentes, l'autre s'obtient en établissant une proportion au moyen des rayons r et $r + e$; ainsi l'on a :

$$\frac{r+e}{r} \times tang.\ \beta_2 = tang.\ \varphi = \frac{5.279 + 0914}{5.279}$$

$$\times 1.4404351 = tang. \qquad 59°23'7''$$

La sécante de cet angle est 1.9636236, δ la différence des angles hélicoïdaux =. . . . . 4° 9'18"

tang. (4° 9' 18") = 0.0726257

L'excentricité théorique $CO = \frac{c. \cot.^2 \theta}{a}(r+e)$

$= \frac{9.144 \times (1.732)^2}{11.056} \times (5.279 + 0.914) = 15.366$

L'excentricité modifiée sera $= r \cot. \theta \tang. \varphi$
$= 5279 \times 2 \times 1.689933 =$ . . . . $15^m.452$

Les règles à côtés parallèles et divergents pour la taille des lits des voussoirs, devront avoir nécessairement une longueur égale à la hauteur desdits voussoirs, c'est-à-dire, à $0^m.914$ chacune, et si on les applique à 1,067 de distance l'une de l'autre, la largeur de la dernière devra être plus grande de $l \tang. \delta = 1,067 \times 0,0726 = 0^m.077$ à une extrémité qu'à l'autre. Les règles étant appliquées, ainsi qu'il vient d'être dit, à la distance 1^m 067 l'une de l'autre, mesurée la douelle du voussoir, les deux autres extrémités doivent se trouver à une distance

$l_2 = l. \frac{sec. \varphi}{sec. \beta^2} = 1.067 \frac{1.963}{1.753} = 1^m.194$, la divergence, dans ce cas, étant de $0^m.127$.

L'équerre pour marquer les angles hélicoïdaux ou les redans ou gradins, pour tracer les lignes d'axe sur les douelles des voussoirs, sera construite ainsi qu'il suit : si la base est de $0^m.610$, la perpendiculaire sera $0^m.61 \times \tang \beta = 0,61 \times 1,44 = 0^m.878$, le plus grand angle : 55′, 13′ étant celui que font les joints continus à leur rencontre avec la ligne de naissance.

Pour obtenir l'angle d'arasement de la tête de la culée, qui n'est autre que l'angle du premier joint de tête à la naissance de la voûte, nous avons :

$\frac{\textit{L'excentricité + le rayon — sinus verse}}{\textit{la demi-ouverture oblique}}$ = *tang. de l'angle de tête à la naissance*, ou d'arasement de l'extrémité de la culée.

Tel est le meilleur moyen pratique de l'obtenir, ce qui est évident par l'inspection du dessin.

La table suivante donne le moyen de calculer les ordonnées pour obtenir le développement de la tête de la voûte,

Angles ACa ou ε	Log. sin. ε	Log. r × sin. ε cot. θ ou log. be.	VALEURS de be.	VALEURS de bf.	ORDONNÉES fe ou be — bf.
6°	9.0192346	1.9803508	0.956	0.792	0.164
12	9.3178789	0.2789951	1.901	1.584	0.317
18	9.4899824	0.4510986	2.824	2.375	0.449
24	9.6093133	0.5704295	3.719	3.167	0.552
30	9.6989700	0.6600862	4.572	3.959	0.613
36	9.7692187	0.7303349	5.374	4.751	0.623
42	9.8255109	0.7866271	6.118	5.543	0.575
48	9.8710735	0.8321897	6.795	6.334	0.461
54	9.9079546	0.8690738	7.397	7.126	0.271
60	9.9375306	0.8986468	7.918	7.917	0.001
60° 0′ 10″	9.9375308	0.8986470	7.918	7.918	0.000

Explication de cette Table.

Colonne n° 1. Elle contient les différentes valeurs attribuées aux arcs dont on cherche les ordonnées correspondantes. Et comme l'arc total contient 60°, 0′, 20″, le nombre entier de degrés, ou 60, a été divisé en dix, et l'on a d'abord, de l'obliquité de la voûte, qui est 7,919, retranché une quantité correspondante à 10″, ce qui réduit le nombre à 7,918, qui correspond aux 60 degrés que nous avons divisés en dix parties. On opère ainsi uniquement dans le but de faciliter l'opération.

Nous avons : *log.* r = 0.7225517
log. cot. θ = *log. cot.* 30° = 0.2385606

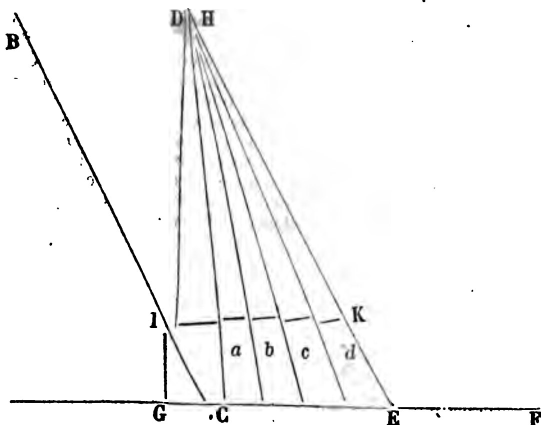
log. r *cot.* θ = 0.9611123

En ajoutant ce nombre à chacun de ceux de la colonne n° 2, on aura ceux de la troisième colonne. L'explication des autres colonnes est la même que celle donnée précédemment.

Nous pensons que ces deux exemples de la méthode à suivre pour faire les calculs que comporte un projet de voûte oblique seront suffisants.

Dans les ponts qui ont une grande obliquité, les angles

des pierres sont non-seulement difficiles à garantir, mais on peut même dire qu'ils sont presque inévitablement cassés dans la pose, par la manœuvre ou par des coups accidentels. Pour parer à cet inconvénient, nous avons employé l'artifice suivant : on abat du côté de l'angle aigu du pont les arêtes des voussoirs sur une profondeur, mesurée sur la naissance, telle que la voûte paraisse avoir un voussoir de plus. La quantité retranchée de chaque voussoir a toujours la même profondeur, suivant les génératrices du cylindre : mais, sur le plan des têtes, elle va toujours diminuant de l'angle aigu à l'angle obtus, où elle est nulle. Par ce procédé on évite d'avoir des angles plus petits que des droits sur les parements du pont. La ligne terminant, dans le plan des têtes, la nouvelle surface intradossale résultant de cette opération, est une courbe elliptique plus grande que la première, l'aspect de la voûte est élégant et plaît à l'œil. Cette disposition est représentée sur le plan, l'élévation et la section des planches 3 et 4. Le premier est le dessin d'une voûte en arc de cercle surbaissée, oblique à 30 degrés, le dernier se rapporte à une arche en plein cintre oblique à 25 degrés.



Nous allons expliquer la méthode que nous avons suivie pour déterminer la quantité à couper sur chaque voussoir et

obtenir ainsi l'ellipse supérieure : soit ACB dans la figure ci-contre l'angle aigu du pont, et DEF l'angle obtus ; prenez, d'après la division en assises de la voûte, la distance CG telle qu'en enlevant le triangle ICG à la naissance on aperçoive un voussoir de plus : tirez alors GH perpendiculaire à AC, et rencontrant en H la culée opposée (prolongée si c'est nécessaire), du point I où GB rencontre CB menez IK parallèle à la face CE. La portion des voussoirs comprise entre les plans verticaux passant par IK et GH devra être retaillée pour former l'ellipse supérieure et donner à l'arche ce qu'on nomme ordinairement un évasement en forme de cloche (a bell-mouth). Elle ne doit être retouchée en aucun autre point de la voûte, en dedans de la ligne IK. Le point H est au niveau de la naissance de la voûte ; et si nous supposons que la ligne GH tourne autour du point H comme centre, en s'appuyant sur la section elliptique de l'intrados par le plan IK, depuis le point I jusqu'au point K, ainsi que c'est indiqué par les lignes ponctuées H*a*, H*b*, H*c*, H*d*..., et si l'on admet de plus que cette ligne HI soit dans toutes ses positions assez longue pour atteindre le plan de tête CE, elle y tracera l'ellipse supérieure ; en abattant, suivant la surface conique ainsi engendrée, les arêtes des voussoirs, la génératrice IK coïncidera en même temps avec l'ellipse de l'intrados se projetant en IK, avec la nouvelle ellipse de tête se projetant en CE, et avec la zône de surface conique comprise entre les deux courbes, et l'on aura obtenu l'évasement en forme de cloche (a bell-mouth) dont il est question.

En se reportant aux planches 3 et 4, on remarquera que dans chaque dessin, les voussoirs sont disposés à l'intrados en gradins qui facilitent le liaisonnement des murs en retour des têtes ; sans cette précaution, le mur au-dessus de l'angle aigu courrait risque de se détacher de la voûte.

CHAPITRE V.

Mode de construction.

Après avoir disposé les culées ainsi qu'il est indiqué au dernier chapitre, on montera le cintre et on placera tous les couchis, en ayant soin de bien les fixer ; ils doivent avoir une longueur suffisante pour saillir de quelques centimètres sur les plans de tête de la voûte. Cela fait, l'extrados de ce cintre sera préparé de la manière suivante, afin de guider les maçons dans la pose des voussoirs.

D'abord les arêtes de l'intrados de la voûte dans le plan de tête seront tracées sur les couchis (ou mieux encore sur une aire en plâtre recouvrant tout le cintre) : les arêtes se projètent sur le plan suivant les lignes AB, A'B', pl. 3, fig. 24. Divisez alors en deux parties égales la courbe de tête et joignez les points milieux par la ligne CC' qui, à son tour, sera partagée en autant de parties que les culées. Les lignes à tracer sur le cintre forment les joints discontinus des assises et sont des hélices ; pour les obtenir, prenez une règle mince, flexible, bien droite et d'une longueur suffisante. On se sert ordinairement d'une volige de sapin de 14 millimètres d'épaisseur, de 32 centimètres de largeur et 8^{m}.33 de longueur, ayant ses deux côtés, ou au moins un, parfaitement dressés. Si, maintenant, le pont est de dimensions telles, que la règle puisse atteindre des culées à la ligne du sommet (c'est-à-dire que la règle doit avoir pour cela la moitié de la longueur de l'hélice de tête), on divisera cette règle en autant de parties qu'il y a de voussoirs dans la moitié de la voûte, après avoir toutefois retranché de la longueur de la règle la moitié de l'épaisseur de la clef. On applique ensuite cette règle sur la première division de la ligne du sommet, c'est-à-dire que ses deux extrémités coïncideront avec les joints A', C', fig. 23, pl. 3, et l'on tracera au pinceau suivant cette règle, une ligne sur l'aire du cintre, en ayant soin de marquer en même temps d'un point les divisions *a*, *b*, *c*, *d*, *e*, etc .. des voussoirs sur chacune des hélices de tête auprès de chaque plan de tête. Tirons maintenant, en commençant du côté de l'angle obtus A', une autre série de lignes sur l'extrados du cintre ; au moyen d'une règle droite, la première ira du point où le

premier joint coupe l'hélice de tête, auprès du parement de la voûte à la première division de la ligne de naissance, ou au sommet de l'angle hélicoïdal; la seconde ira du deuxième point marqué sur l'hélice de tête à la deuxième division ou au sommet du second angle hélicoïdal; la troisième ira du troisième point au troisième sommet, et ainsi de suite jusqu'à ce que tous les points marqués sur l'hélice de tête soient réunis avec les divisions de la ligne de naissance ou les joints correspondants sur l'autre hélice de tête. Cette série de lignes représente les joints continus des voussoirs; on les voit en aa', bb', cc',... en plan et en élévation, fig. 24 et fig. 25. Si la voûte est entièrement construite en pierres d'appareil, ces lignes seront les joints des lits des voussoirs; si elle est entièrement ou partiellement construite en briques, les cours de briques devront être parallèles à ces lignes; dans l'un et l'autre cas, on voit qu'elles serviront de directrices.

Dans le dernier cas, la maçonnerie de briques doit être composée alternativement d'un cours de briques en panneresses et d'un cours en boutisses, afin que l'intrados de la voûte ait un aspect agréable à l'œil, et, pour mettre les maçons à même d'exécuter le parement avec soin, il est nécessaire de décrire sur l'extrados du cintre un certain nombre d'hélices de tête, parallèles à celles déjà décrites ci-dessus en premier (celles dont les divisions déterminent les joints continus), il sera suffisant de tracer les hélices à des intervalles égaux à la longueur de deux briques. Ces hélices coupent la ligne du sommet cc' aux points u, v, w, x, y, etc.

CHAPITRE VI.

Principes de projection.

Un ouvrage de cette nature serait incomplet, si l'on ne donnait pas la manière de projeter exactement sur le plan l'élévation et la section, les lignes spirales ou hélices qui décrivent les joints continus et discontinus, lorsque nous savons surtout que peu de personnes sont familières avec les moyens de les obtenir avec exactitude.

Lorsque, dans le dessin d'une arche oblique, toutes les lignes de l'appareil ont été tracées avec soin et précision, elles produisent un très-bel effet; mais, quand il n'en est point ainsi, on ne peut rien voir de plus pitoyable. Les courbes de projection d'une hélice sous divers angles sont peu prononcées, et il n'est guère possible de les tracer sans un pistolet préparé expressément pour le dessin, et que l'on découpe dans une planchette de bois ou dans une feuille de carton. Nous donnerons un peu plus loin la manière de tracer les courbes. Supposons que l'on veuille préparer les pistolets pour le dessin du pont du premier exemple ci-dessus.

Pistolets pour le plan.

Fig. 26, pl. 3. Décrivez le demi-cercle ABC avec un rayon égal à celui de l'intrados. Divisez chaque quart en un même nombre de parties égales, c'est-à-dire dix, et numérptez-les comme dans la figure.

Faites l'angle ADC égal à l'angle d'obliquité du pont, désigné par θ dans les formules. Prolongez CD jusqu'en E et prenez DE égale au pas de l'hélice tel qu'il est donné par le calcul. Prenez AF égal et parallèle à CE, et GF = DE. Divisez le pas de l'hélice GF en un même nombre de parties égales que le demi-cercle, c'est-à-dire en vingt parties; les intersections, deux à deux, des lignes tirées des divisions du demi-cercle ABC, parallèlement à AF, et des lignes tirées des divisions du pas de l'hélice perpendiculairement à GF, donneront les points de la projection sur le plan horizontal de l'hélice des joints continus DF, ainsi que cela a été expliqué plus particulièrement dans le chapitre premier.

Divisons maintenant l'obliquité CD en vingt parties égales,

et de chaque division menons des perpendiculaires à C D, les points d'intersection de chacune de ces lignes avec chacune de celles tirées des divisions du demi-cercle, appartiendront à la projection horizontale de l'hélice des joints de tête des voussoirs. Ces deux hélices sont tracées sur l'intrados de la voûte ; si l'on veut avoir celles qui se rapportent à l'extrados, on les obtiendra de la même manière.

Pistolets pour l'élévation de la tête de la voûte.

Fig. 26. Deux pistolets sont nécessaires pour tracer cette élévation : l'un pour la projection verticale des joints continus, l'autre pour la projection verticale de l'arête D A sur la tête de la voûte. Nous considérons ici la projection de ces courbes sur le plan vertical de la tête, passant par la ligne A D H. Pour obtenir ces projections, remarquons que les lignes tirées parallèlement à D E des divisions du demi-cercle A B C, sont les projections sur le plan horizontal des génératrices du cylindre. Les joints de ces courbes et du demi-cercle qui se trouvent sur une même génératrice, sont évidemment à la même hauteur au-dessus du plan horizontal et se projettent sur ce plan en un des points de la projection de la génératrice, et, en même temps, pour l'ellipse de tête, en un des points de A D H, par conséquent aux points où cette ligne est coupée par la projection des génératrices. Si de ces points on élève, perpendiculairement à A D H, des lignes égales en hauteur aux ordonnées correspondantes du demi-cercle, leur extrémité donnera autant de points de l'ellipse. En ce qui concerne la projection de l'hélice des joints continus, nous remarquerons que les points qui sont à la même hauteur au-dessus du plan horizontal, que les divisions du demi-cercle, se projettent sur le plan horizontal à l'intersection de la projection D F avec les génératrices ; si de ces points nous abaissons des perpendiculaires sur A D H et qu'à partir de cette dernière ligne nous prenions sur ces perpendiculaires des longueurs égales à celles relevées sur le demi-cercle, aux divisions correspondantes, nous aurons autant de points de la projection de l'hélice des joints continus. Pour la construction de l'ellipse, on peut décrire pour plus de facilité sur A D un demi-cercle égal à A B C.

Pistolets pour la section verticale de la voûte, suivant l'axe du cylindre.

Fig. 26. Deux pistolets sont aussi nécessaires pour tracer cette coupe : un pour la projection des joints continus D F, aboutissant aux deux extrémités du pas de l'hélice G F, qui

qui sert, pour ainsi dire, de base; et un pour les joints de tête D A, aboutissant aux extrémités de l'obliquité A C ou C D qui sert de base au premier joint. Les ordonnées de chacune de ces projections se déduisent de la projection horizontale absolument de la même manière que les précédentes, en abaissant des points d'intersection des génératrices projetées du cylindre, avec les projections horizontales de ces courbes, des perpendiculaires sur la ligne C F, et prenant sur ces perpendiculaires des hauteurs respectivement égales à celles des divisions correspondantes dans le demi-cercle. Cela est trop simple pour demander une plus grande description.

Toutes les projections des hélices sont des sinussoïdes dont les abscisses ne varient pas dans le même rapport. Les dernières décrites sont connues sous le nom de courbes harmoniques (1); et les ordonnées étant équidistantes, il est évident que ces courbes peuvent être obtenues indépendamment de la projection horizontale, en divisant leurs bases en parties égales et prenant les ordonnées dans une table de sinus. Leurs bases (ou plus exactement leurs axes) sont connues par les formules données précédemment. Les projections sur le plan de tête A D H ont les ordonnées inégalement espacées, on pourrait établir des formules pour déterminer par le calcul les abscisses croissant de quantités inégales et qui se comptent sur les lignes A D H; mais comme elles ne sont point semblables à celles dont les dessinateurs ont l'habitude de se servir, on ne les donnera pas.

Les courbes projetées sur le dessin sont celles au moyen desquelles le projet du pont dont il a été question dans le premier exemple a été exécuté; afin d'être plus explicites, nous allons exposer la manière d'en faire usage.

Lignes du Plan.

Les lignes directrices des joints continus que nous avons supposé tracées sur l'extrados du cintre, ainsi qu'on les voit en projection sur la figure 24, sont des portions de la courbe F I O D, fig. 26. Elles sont décrites à l'aide d'un pistolet, dont l'une des extrémités, telle que F, est toujours en contact soit avec la ligne de naissance, en un de ses points de division, soit avec le prolongement vers I de cette ligne, tandis que l'autre extrémité D, fig. 26, est toujours en contact avec la division correspondante sur la culée opposée. Dans

(1) *Voir* le *Traité de Géométrie* de Leslie, sur les lignes courbes, p. 416.

cette position du pistolet, on trace toute la partie de la courbe interceptée par les plans de tête A B, A' B', puis on l'applique de la même manière aux divisions suivantes, et ainsi de suite.

Les projections des joints de tête qui coupent partout les joints continus à angle droit, sont tracées à l'aide d'un pistolet découpé suivant la courbe AIOD. Une extrémité étant en contact en un des points de divisions d'une culée, l'autre doit être sur la division correspondante de l'autre culée, partout où l'on voudra tracer un joint transversal.

Lignes de l'élévation de la Tête.

Les lignes des joints continus sur l'élévation du plan de tête sont décrites au moyen d'un pistolet découpé suivant la courbe qui a pour base la ligne D H, fig. 26, une extrémité D étant appliquée à une des divisions de la ligne de naissance (ou de cette ligne suffisamment prolongée), ainsi qu'on le voit dans la figure 25, et l'autre H restant sur la base, on tracera la portion de cette courbe comprise entre les projections des deux ellipses de tête, et l'on répètera la même opération jusqu'à ce que tous les joints soient tracés.

Les joints transversaux, à angle droit sur les précédents, sont tracés de la même manière au moyen d'un pistolet découpé sur la courbe dont la base est D A, en l'appliquant de même sur les lignes des naissances.

Lignes de la coupe suivant l'axe.

Les lignes des joints continus, comme on les voit dans la figure 17, pl. 3, sont tracées avec un pistolet F I O G, fig. 26, dont on applique la base sur la ligne de naissance, et l'une de ses extrémités a un des points de division de cette ligne, suffisamment prolongé si c'est nécessaire, ainsi qu'on le voit en *a*, *b*, *c*, *d*, *e*, *f*, *g*, *h*, etc.

Les joints de tête, qui sont à angle droit sur ces derniers, sont tracés par un pistolet G I O A, fig. 26, la base G A est toujours appliquée sur la ligne de naissance, et l'une des extrémités à l'intersection de cette ligne avec les joints transversaux, nous pensons que les explications précédentes doivent être suffisantes.

CHAPITRE VII.

Étude plus approfondie, et conclusion (1).

On se demandera naturellement jusqu'à quel degré d'obliquité il est convenable et possible de construire un pont d'après les principes qui viennent d'être exposés. Nous tâcherons de donner une solution de cette question ou du moins de l'éclaircir un peu. Pour y parvenir, prenons un pont oblique à section droite demi-circulaire, construit en tous points d'a-

---

(1) L'auteur suppose que le lit, à surface spirale, se confond dans l'élément voisin du plan de tête, avec le plan passant par le joint de tête et la tangente à l'hélice, au point où elle pénètre le plan de tête, et il cherche la relation qui doit exister entre l'angle d'obliquité et la hauteur du joint, au-dessus des naissances, pour que ce plan soit perpendiculaire à celui de tête.

Soient E A, A′ A″ les traces horizontale et verticale du plan de tête (fig. 29 *bis*), AEH l'angle d'obliquité θ; soit E, E′ le point de l'ellipse de tête pour lequel le plan passant par le joint et la tangente à l'hélice, est perpendiculaire au plan de tête ; la trace horizontale de ce plan sera EB, ligne perpendiculaire sur AE.

Imaginons au point E un cône ayant pour axe la génératrice du cylindre qui se projette sur EH, et pour angle au sommet, l'angle β, le cône se projettera horizontalement dans le triangle TET, et si à une distance EH, que nous prendrons égale à l'unité, pour plus de simplicité dans les calculs, nous faisons une section droite du cône et du cylindre, cette section sera représentée dans le plan vertical par les cercles E′ T′, E′ O.

Une tangente quelconque aux hélices intradossales est parallèle à l'une des génératrices de ce cône. La projection verticale de la tangente à l'hélice, au point E, doit être tangente à la section droite du cylindre ; cette projection sera donc E′F′. Cette tangente doit, de plus, par hypothèse, se trouver dans le plan perpendiculaire EB ; il faut donc que la trace verticale de ce plan passe par le point F′. On a un autre point de cette trace en projetant B en B′ ; elle est donc B′F′.

Si, par le joint du point E, et par la génératrice EH du cylindre, nous menons un plan, il coupera le plan de sections droites suivant E′O, le point O étant le foyer, et CO ce qu'on a appelé l'excentricité ; la ligne OE′ prolongée devra couper la trace verticale A′ A″ du plan de tête au même point A″ que la trace verticale du plan perpendiculaire EB.

Cherchons quelle valeur il faut donner à l'angle τ, ou, ce qui re-

près les principes précédents : il s'agit de trouver à quelle hauteur au-dessus du niveau de l'axe du cylindre, la poussée de la voûte sera perpendiculaire au lit (ou surface du joint des voussoirs). Nous ferons d'abord remarquer que l'angle

---

vient au même, à quelle hauteur au-dessus du plan des naissances doit se trouver le point E pour que ces conditions soient remplies.

Remarquons d'abord que l'on a :

$EH = 1$, $AH = \text{tang.}\,\theta$, $HB = \cot.\,\theta$, $TH = ET' = \text{tang.}\,\beta = \frac{2\cot.\,\theta}{\pi}$; l'angle $A'E'A'' = OE'B''$, donc nous avons $\frac{A'A''}{\text{tang.}\,\theta} = \frac{CO + r\sin.\,\tau}{r\cos.\,\tau}$ d'où $A'A'' = \frac{2\cot.^2\theta\,(r+e) + \pi r\sin.\,\tau}{\pi r\cos.\,\tau}$ tang. θ. Dans les triangles semblables $A'A''B'$, $F'F''B$, nous avons :

$$A'A'' : \text{tang.}\,\theta + \cot.\,\theta :: \text{tang.}\,\beta\cos.\,\tau : \cot.\,\theta - \text{tang.}\,\beta\sin.\,\tau$$

$$A'A'' = \frac{(\text{tang.}\,\theta + \cot.\,\theta)\,\text{tang.}\,\beta\cos.\,\tau}{\cot.\,\theta - \text{tang.}\,\beta\sin\,\tau} \text{ ou}$$

$$A'A'' = \frac{2(\text{tang.}\,\theta + \cot.\,\theta)\cot.\,\theta\cos.\,\tau}{\pi\cot.\,\theta - 2\cot.\,\theta\sin.\,\tau} = \frac{2(\text{tang.}\,\theta + \cot.\,\theta(\cos.\,\tau}{\pi - 2\sin.\,\tau}$$

$$= \frac{2\,\text{cosec.}^2\theta\cos.\,\tau\,\text{tang.}\,\theta}{\pi - 2\sin.\,\tau}$$

$$\text{d'où} \quad \frac{2\,\text{cosec.}^2\theta\cos.\,\tau}{\pi - 2\sin.\,\tau} = \frac{2\cot.^2\theta\,(r+e) + \pi r\sin.\,\tau}{\pi r\cos.\,\tau};$$

Egalant ces deux valeurs de $A'A''$, et résolvant l'équation par rapport à sin. τ, on trouve :

$$\text{(B)} \quad \text{Sin.}\,\tau = -\left\{\frac{\pi}{4}\,\text{tang.}^2\theta - \frac{1}{\pi}\cdot\frac{r+e}{r}\right\} \pm \sqrt{\left(\frac{\pi}{4}\,\text{tang.}^2\theta - \frac{1}{\pi}\cdot\frac{r+e}{r}\right)^2 + \frac{1}{\cos.^2\theta} - \frac{r+e}{r}}$$

$$\text{ou} \quad \text{Sin.}\,\tau = -\left\{\frac{\pi}{4}\,\text{tang.}^2\theta - \frac{1}{\pi}\cdot\frac{r+e}{r}\right\} \pm \sqrt{\left(\frac{\pi}{4}\,\text{tang.}^2\theta - \frac{1}{\pi}\cdot\frac{r+e}{e}\right)^2 + \text{tang.}^2\theta - \frac{e}{r}},$$

que les joints continus font avec l'horizon au niveau de l'axe, excède toujours celui que le joint de tête du lit du premier voussoir fait aussi avec l'horizon; ou, en d'autres termes, l'angle hélicoïdal de l'intrados est toujours plus grand que

---

Telle est la valeur de l'angle τ, où le plan passant par le joint et la tangente à l'hélice est perpendiculaire au plan de tête.

L'auteur parvient à la valeur du sinus τ en exprimant qu'un plan vertical MN (fig. 29 *bis*), perpendiculaire au plan de tête, coupe le joint et la tangente à l'hélice en des points situés à même hauteur au-dessus du plan horizontal, mais il prend pour la hauteur N′ N″, $\frac{2 \text{ cosec. } \theta \cos. \tau}{\pi}$, en faisant $EM = 1$, tandis que cette hauteur est

$$\frac{2 \text{ cosec. } \theta \cos. \tau}{\pi\, 2 \cos. \tau}$$

et, dans la même hypothèse :

$$M'M'' = \frac{2(r+e)\cot.^2\theta + \pi r \sin. \tau}{\pi r \cos. \tau} \sin. \theta$$

l'égalité de ces valeurs conduit à l'équation (B) ci-dessus.

Pour la discussion de la valeur de τ, nous remarquerons que cet angle est toujours égal à H′E′F′. Si, à partir de zéro, on fait toujours augmenter cet angle, la ligne tirée par les points B′ et H″ va rencontrer la verticale A′ A″ en des points A″ qui s'élèvent de plus en plus, jusqu'à ce que le rayon E′H″ vienne passer par le point de tangence de la tangente menée au cercle du point B′, si τ continue à croître, les points tels que A″ déterminés par la sécante passant au point B′, s'abaissent de plus en plus, tandis que les points correspondants à A″, déterminés par la ligne OE′, qui s'élèvent sur A′ A″ à partir du $\tau = o$, continuent encore à s'élever après que la sécante a atteint son maximum d'élévation. Il suit de là que toute valeur de l'arc τ, qui satisfait aux conditions imposées, est comprise entre le point H′ et le point de tangence de la tangente menée du point B′ à la section droite du cône. Pour le point de tangence que nous supposons être K, nous avons :

$$E'K = E'B' \sin. \tau \text{ ou } \frac{2 \cot. \theta}{\pi} = \cot. \theta \sin. \tau, \text{ d'où } \sin. \tau = \frac{2}{\pi}$$

D'où il résulte que, quelle que soit l'obliquité, l'angle τ ne peut dépasser 39° 32′ 25″, plus θ augmente, c'est-à-dire, plus l'obliquité diminue, plus τ s'approche de cette limite, qu'il ne peut atteindre que pour $\theta = 90°$, c'est-à-dire lorsqu'il n'y a plus d'obliquité.

Lorsque θ est tel que τ et plus petit que la limite ci-dessus, la sécante partant de B′ coupe la section droite du cône en deux points situés l'un à droite, l'autre à gauche du point k; par les motifs déduits ci-dessus, il n'y a que ce dernier qui soit une solution du problème

l'angle G B k, fig. 7. Et il l'excède d'une quantité telle que le lit du voussoir à la naissance de la voûte n'est pas à angle droit sur le plan de tête, et par conséquent ne présente pas une résistance perpendiculaire à la poussée, ce qui est essentiel pour la stabilité parfaite du pont.

---

proposé ; l'autre, F‴, détermine un tangente à l'hélice partant d'un point du plan de tête à une hauteur angulaire égale H′E′ F‴, et le plan qui passe par cette tangente et le joint n'est plus perpendiculaire au plan de tête, il est situé au-dessous ; ainsi il aurait pour traces verticale et horizontale, A‴ B_1′ et E B_1, tandis que le plan perpendiculaire a pour mêmes traces A‴ B′ et E B. Remarquons en passant que les plans menés par les joints correspondants à des arcs plus grands que H′F′, et les tangentes à l'hélice en ces points, seront tous au-dessous du plan perpendiculaire à la tête, mené par le joint, tandis que les plans menés par des joints correspondants à des angles plus petits que H′ E′ F′ et les tangentes aux hélices, seront au-dessus du plan perpendiculaire. Cela ressort d'une manière évidente des hauteurs N′ N″ et M′ M″ données ci-dessus ; la première diminue à mesure que l'angle τ augmente, tandis que la seconde, au contraire, augmente, et *vice versâ* quand on prend pour τ des valeurs plus petites que l'angle H′ E′ F′, pour lequel ces deux hauteurs sont égales. Si, au lieu de considérer des hélices partant de points de plus en plus élevés au-dessus de E, nous considérons l'hélice intradossale partant de ce point, dans la partie qui s'élève de E vers le point culminant du cylindre, et qu'au point considéré nous fassions passer un plan parallèle à celui de tête, nous pourrons appliquer à ce point le même raisonnement que nous avons fait pour celui qui se trouve à la même hauteur sur l'ellipse de tête, c'est-à-dire que le plan mené par la tangente à l'hélice en ce point et une ligne déterminée, comme le joint de tête situé à même hauteur, sera au-dessous du plan perpendiculaire à celui de tête.

Si l'on regarde le lit du cours de voussoir partant du point E comme se confondant, dans chacun de ses éléments, avec les différents plans menés par la tangente à l'hélice, à l'origine de chaque élément, et la ligne qui, dans la section parallèle au plan de tête, passe par cette même origine et le foyer de cette section, il s'en suivra que chaque élément du lit sera au-dessous du plan mené normalement à la tête par cette dernière. Ainsi, le cours de voussoirs qui s'appuie sur le lit dont le joint de tête est E′A″, tendrait à glisser vers l'intérieur de la voûte, si la gravité ne s'opposait à ce mouvement, qui ne pourrait en effet avoir lieu qu'autant que le cours de voussoirs qui tend à le prendre s'élèverait verticalement. Si l'on imagine, pour un instant, que le cours de voussoirs en question prenne un très-petit mouvement, les points qui se trouvaient dans le joint E A″ seront descendus relativement à ce joint et se seront élevés verticalement. Il y là quelque chose d'analogue à ce qui se passe dans la vis d'Archimède, où l'eau s'élève verticalement en descendant toujours, pour ainsi dire, sur l'hélice.

Tout ce que nous venons de dire se rapporte à la moitié de la sec-

Soit BAC, fig. 27, le plan de l'angle aigu à la naissance d'une voûte oblique semi-circulaire, BA est le plan de tête et AC la douelle; soit CAC', fig. 28, l'élévation de la portion correspondante de l'intrados (CA, fig. 28, est égale à

---

tion elliptique située du côté de la culée à angle aigu. Mais il est facile de se rendre compte, sans de nouveaux calculs, de ce qui a lieu pour l'autre moitié, celle du côté de la culée à angle obtus. Supposons que, tournant autour du petit axe de l'ellipse, elle vienne s'appliquer sur la première. Au point E (fig. 29), où le plan du joint E'A" et de la tangente à l'hélice est normal à la tête, le cours de voussoir qui s'appuie sur le lit passant par ce joint ne tendra à glisser ni en dehors ni en dedans du plan de tête; en un autre point plus élevé que E, ce cours de voussoirs qui, dans la première partie de la voûte, aurait tendance à glisser vers l'intérieur de l'arche, aura au contraire, dans la seconde moitié, celle du côté de la culée à angle obtus, tendance à glisser hors du plan de tête. Toute la portion du cours de voussoirs comprise entre le point considéré et un autre point situé à la hauteur du point F dans l'intérieur de la voûte, sur la deuxième hélice qui détermine l'épaisseur du cours, aura la même tendance, mais il sera retenu par la gravité. On peut appliquer le même raisonnement à tous les points situés entre le point F et le sommet, et l'on voit que, dans la portion de voûte, au-dessus du point F, située du côté de l'angle aigu, c'est la forme du lit qui s'oppose au glissement hors du plan de tête d'un cours quelconque de voussoirs sur celui qui le supporte, et que, dans la portion symétrique, située du côté de l'angle obtus, la forme du lit permettrait, au contraire, le glissement hors du plan de tête, tandis que c'est la gravité qui s'y oppose.

Si nous considérons actuellement la portion au-dessous du niveau du point E, du côté de la culée à angle obtus, nous voyons que, de même que la forme du lit et la gravité concourent du côté de l'angle aigu, ainsi que nous l'avons vu, à faire glisser les cours de voussoirs hors du plan de tête, de même, du côté de l'angle obtus, ces deux causes se réunissent pour rendre possible le glissement vers l'intérieur de la voûte, si les lits au-dessous du niveau de E, du côté de l'angle obtus, vont se terminer sur la culée, elle doit pouvoir résister à cette poussée; s'ils vont se terminer à l'autre tête, il n'y a que le frottement et la cohésion des mortiers qui puissent s'opposer, il ne faut donc conserver de la voûte que la partie au-dessus du niveau du point E.

La hauteur de ce point varie suivant l'obliquité. La formule B donne le moyen de déterminer la position de ce point dans tous les cas. Pour montrer comment on s'en sert, supposons l'épaisseur à la clef égale au vingtième de l'ouverture oblique, ou $e = \frac{2\,r \text{ cosec. } \theta}{20}$, et substituons cette valeur dans l'équation B, et donnant à θ les valeurs suivantes, on trouve les valeurs correspondantes de τ.

$$\theta = 75^\circ, \quad \sin.\,\tau = -\,10{,}5881 \pm 11{,}2215 = 0{,}63340$$
$$\tau = 39^\circ 18'$$

A C, fig. 27), l'angle C A C′ est celui que les joints continus de l'intrados font avec l'horizon, à la naissance, et avec l'axe du cylindre, en un point quelconque ; soit également B A B′, fig. 29, l'angle que le joint de tête du lit du premier voussoir

---

$\theta = 65^\circ$, sin. $\tau = -\ 3{,}25665 \pm 3{,}88501 = 0{,}62836$
$\tau = 38^\circ 56'$

$\theta = 55^\circ$, sin. $\tau = -\ 1{,}24474 \pm 1{,}86195 = 0{,}61721$
$\tau = 38^\circ 7'$

$\theta = 45^\circ$, sin. $\tau = -\ 0{,}42210 \pm 1{,}01754 = 0{,}59544$
$\tau = 36^\circ 33'$

$\theta = 40^\circ$, sin. $\tau = -\ 0{,}18516 \pm 0{,}76341 = 0{,}57825$
$\tau = 35^\circ 20'$

$\theta = 35^\circ$, sin. $\tau = -\ 0{,}01126 \pm 0{,}56197 = 0{,}55071$
$\tau = 33^\circ 25'$

$\theta = 30^\circ$, sin. $\tau = +\ 0{,}12017 \pm 0{,}38454 = 0{,}50474$
$\tau = 30^\circ 19'$

$\theta = 25^\circ 40'$ sin. $\tau = \pm\ 0{,}21043 + 0{,}21043 = 0{,}42086$
$\tau = 24^\circ 54'$

$\theta = 23^\circ 30'$ sin. $\tau = 0{,}24965 \pm 0$
$\tau = 14^\circ 29'$

L'équation donne, comme on voit, deux valeurs pour sin. τ. En prenant le signe $+$ du radical, on a la valeur de τ qui répond à la question. Pour $\theta = 23^\circ\ 30'$, on n'a plus qu'une seule valeur pour sinus τ, le radical s'annule. Si l'on fait θ plus petit encore, le radical devient imaginaire.

Si l'on considère le signe —, on voit que les valeurs de sin. τ sont plus grandes que l'unité jusqu'à $\theta = 40^\circ\ 30'$ environ, ou jusqu'à ce que l'excentricité soit égale au rayon, ces valeurs sont comme imaginaires, elles annoncent une impossibilité ; mais pour des valeurs de θ plus petites que $40^\circ\ 30'$, on a une valeur de sin. τ négative qui correspond à un angle compté au-dessous du plan des naissances. Pour $\theta = 25^\circ\ 40'$ cet angle devient nul, et l'on pourrait croire qu'il répond à la question posée ; il n'en est rien ; c'est toujours la plus grande valeur de sin. τ qu'il faut considérer dans ce cas, comme dans ceux où les deux valeurs de sin. τ deviennent positives, entre $\theta = 25^\circ\ 40'$ et $\theta = 23^\circ\ 30'$.

Car, pour les angles compris entre la plus petite et la plus grande des valeurs positives de τ, ainsi quand $\theta = 25^\circ\ 40'$ pour les angles compris entre 0° et $24^\circ\ 54'$, le plan passant par la tangente à l'hélice et le joint est au-dessus du plan mené perpendiculairement à la tête par ce joint, et un cours de voussoir tend à glisser en dehors sur celui qui le supporte.

fait avec l'horizon ; maintenant, pour que le premier voussoir posé sur A B′ ne puisse avoir aucune tendance à glisser soit en dehors, soit en dedans de la ligne A B, fig. 27, et aussi pour que la direction de la ligne de plus grande pente sur

---

Pour bien comprendre comme varient les plans menés par le joint et la tangente à l'hélice, on peut considérer la variation des hauteurs

$$M'M'' = \frac{E + r \sin. \tau}{r \cos. \tau \text{ cosec. } \theta},$$

(en exprimant l'excentricité par $E = \frac{2(r+e)\cot.^2\theta}{\pi}$)

et
$$N'N'' = \frac{\text{cosec. } \theta \cos. \tau}{\frac{1}{2}\pi - \cos. \tau}$$

Lorsque la première de ses hauteurs est plus grande que la deuxième, le plan passant par le joint et la tangente est au-dessous du plan normal à la tête passant par le joint ; quand au contraire elle est plus petite, ce plan est au-dessus du plan normal.

La plus petite valeur de N′N″ correspond à $\sin. \tau' = -\frac{r}{E}$; l'angle τ' ainsi déterminé et compté en dessous de la naissance, est donné par le point de tangence de la tangente au cercle menée du foyer, qui, pour que cela soit possible, doit être hors du cylindre ; ce n'est, au reste, que dans ce cas que la valeur $\sin. \tau'$ est réelle.

La plus petite valeur de M′M″ est donc, en mettant pour $\sin. \tau'$ sa valeur ci-dessus

$$\frac{E^2 - r^2}{r \text{ cosec. } \theta \sqrt{E^2 - r^2}}$$

la valeur correspondante de N′N″

$$\frac{\text{cosec. } \theta (E - r^2)}{\frac{\pi}{2} E + r}$$

en réduisant, la première devient $1 + \frac{e}{r}\cot.^2\theta$, et la deuxième, 1.

Ces valeurs, dans la figure 29 *bis*, se rapportent au point E‴ ; à partir de ce point, ces deux hauteurs augmentent simultanément, N′N″ plus rapidement que l'autre, puisqu'elle lui devient égale en E″, où l'angle E′C P est celui donné par l'équation (B), quand on prend le signe négatif. Passé cet angle, en s'élevant toujours vers la naissance, les deux hauteurs continuent à augmenter simultanément, N′N″ conservant sa supériorité jusqu'au point E, où les hauteurs redeviennent égales, à

le plan du joint B′ A, fig. 29, puisse être parallèle au plan de tête, ou à la ligne B A, fig. 27, une ligne BC tracée sur le lit du voussoir, à angle droit sur B A, doit être horizontale.

A C, fig. 28, est égal à A C, fig. 27; AB, fig. 29, est égal à A B, fig. 27; tirons les perpendiculaires C C′ fig. 28, et BB′

---

partir de ce point, et en s'élevant toujours vers le sommet, M′M″ est toujours plus grand que N′N″, qui atteint son maximum, en un point K′ de la section droite pour lequel l'angle τ' est donné par l'égalité $\sin.\tau' = \frac{2}{\pi}$, d'où $\pi' = 39°32'25'' =$ H′E′ K, ce point étant celui déterminé par la tangente menée du point B′ à la section droite du cône.

Ainsi, à partir du point E, tous les plans menés par le joint et la tangente à l'hélice sont au-dessous du plan normal en tête passant par le joint, comme nous l'avions d'abord admis, sans le démontrer.

Quand l'angle d'obliquité est égal à 23° 30′, la formule B ne donne qu'une valeur positive pour sin. τ; il n'y a plus alors qu'un seul point du demi-cylindre de gauche (ce que nous disons de cette partie, que nous avons considérée seule, a lieu aussi pour l'autre moitié pour les angles égaux à $180° - \tau$), pour lequel le plan du joint et de la tangente soit perpendiculaire au plan de tête; pour tous les autres points, ce plan est au-dessous du plan normal, et alors on peut conserver dans la voûte le demi-cylindre entier. Si on le faisait pour l'angle de 25° 40′, ainsi que le dit l'auteur, on aurait un arc de 24° 54′ à partir du point des naissances, où les plans des joints et des tangentes seraient au-dessus du plan normal. Pour les valeurs de θ comprises entre 25° 40′ et 23° 30′, qui donnent pour τ deux valeurs τ' τ'' positives, on aurait à partir de τ' jusqu'à τ'' un arc $\tau'' - \tau'$, où le plan du joint et de la tangente serait également au-dessus du plan normal.

Enfin quand $\theta < 23° 30'$, les valeurs de sin. τ deviennent imaginaires, il n'y a plus de point du cercle pour lequel le plan de la tangente et du joint soit perpendiculaire au plan de tête, partout ce premier plan est au-dessous de celui mené par le joint normalement à la tête, et alors, pour une valeur quelconque de $\theta < 23° 30'$, on peut conserver toute la demi-voûte.

La discussion à laquelle nous venons de nous livrer, et que nous avons cru devoir développer un peu longuement, parce qu'en quelques points nous ne sommes pas d'accord avec l'auteur, indiquerait qu'une voûte oblique est d'autant plus facile à construire que l'obliquité en est plus grande. Mais il faut remarquer que la section droite étant un cercle, l'ellipse est d'autant plus surbaissée, que l'obliquité est plus grande.

Il est bien vrai que la portion de l'ellipse que l'on peut conserver croît avec l'obliquité, mais il convient d'examiner si le surbaissement ne croîtrait pas plus rapidement encore.

Puisque nous avons dit que, dans la construction des arches obliques, on supprimerait, à partir des naissances, l'arc correspondant à

fig. 29; il est évident que pour que B C, fig. 22, fût horizontale, les lignes C C', fig. 28, et B B' fig. 29, dont les points B' et C' sont respectivement les extrémités de B C, fig. 27, devraient être égales.

Fig. 29. B B' = tang. B A B' rapportée au rayon A B, que nous pouvons prendre pour l'unité : et, en reprenant nos premières notations,

$$BB' = tang.\, BAB' = \frac{CO}{AC} = \frac{cot.^2\, \theta}{\frac{1}{2}\pi} \; \frac{r + e}{r\ cosec.\ \theta}$$

$$= \frac{cot.^2\, \theta\ sin.\ \theta}{\frac{1}{2}\pi} \cdot \frac{r + c}{r};$$

Nous avons aussi $\frac{cot.\ \theta}{\frac{1}{2}\pi} = tang.$ CAC' fig. 28.

---

l'angle τ, tel que le donne la formule B pour chaque valeur de θ, il en résulte que l'ouverture droite est $2r \cos. \tau$, et l'ouverture oblique

$$\frac{2r \cos.\ \tau}{\sin.\ \theta}$$

la montée sera r (1 — sin. τ), et par suite le surbaissement sera

$$\frac{(1 - \sin.\ \tau)\ \sin.\ \theta}{2 \cos.\ \tau}$$

Et remplaçant sin. τ et cos. τ en fonction de θ, on voit que le surbaissement devient plus fort quand θ diminue, il est égal à environ 1/4 pour $\theta = 75°$, et à environ 1/4 pour $\theta = 25°40'$, ce sont des limites que l'on peut atteindre, mais il n'en est pas moins vrai que le surbaissement vient diminuer l'avantage que paraissent présenter les plus fortes obliquités.

On peut construire des arches obliques, à section droite demi-circulaire, bien que l'angle d'obliquité soit plus grand que 32° 30', parce que le frottement et la cohésion des mortiers s'opposent au glissement que permettraient les lits des voussoirs. En faisant entrer cette considération en ligne de compte, on verrait que l'on peut toujours laisser subsister le plein-cintre ; mais ces voûtes ont, pour ainsi dire, un vice originel : leur stabilité est moins grande que celle des voûtes droites, et tôt ou tard elles peuvent se lézarder, tandis qu'en les construisant d'après les principes ci-dessus exposés, elles sont dans un état d'équilibre stable qui se maintiendrait, lors même que les différents cours de voussoirs n'éprouveraient aucun frottement les uns sur les autres, et que le mortier n'aurait aucune cohésion.

Mais AB, fig. 27, étant le rayon, AC représente la sécante

$$\text{et } \frac{cot.\,\theta\, séc.\,\theta}{\frac{1}{2}\pi} = \frac{cosec.\,\theta}{\frac{1}{2}\pi} = CC' \text{ fig. 28.}$$

Ces valeurs des perpendiculaires B B', fig. 29, et CC' fig. 28, sont celles qui se rapportent au niveau de l'axe du cylindre, où, sauf les cas d'une très-grande obliquité, la dernière est toujours la plus grande. Il nous reste maintenant à déterminer à quelle hauteur au-dessus de l'axe se trouve le point où ces deux valeurs deviennent égales. Soit τ, en ce point, l'angle du rayon de la section droite, avec l'horizon; il est facile de voir que la tangente trigonométrique de l'angle que la tangente géométrique à l'hélice intradossale fait avec l'horizon, diminue dans le rapport de *cos.* τ à 1, par conséquent la tangente de l'angle intérieur, au point cherché,

$$\text{sera } \frac{cosec.\,\theta\, cos.\,\tau}{\frac{1}{2}\pi}$$

Soit maintenant E, fig. 29, le point cherché sur l'ellipse de tête. Tirons E F parallèlement à A C, C G D H est la moitié du demi-cercle; alors G C D $= \tau$, F C $= r\, sin.\,\tau$, D F $= r\, cos.\,\tau$,

$$EF = r\, cos.\,\tau\, cosec.\,\theta, \text{ et } CO = \frac{cot.^2\,\theta}{\frac{1}{2}\pi}(r+e), \text{ alors}$$

$$tang.\, IEK = \frac{CO + FC}{EF} = \frac{\left(\frac{cot.^2\,\theta}{\frac{1}{2}\pi}(r+e)\right) + (r\, sin.\,\tau)}{r\, cos.\,\tau\, cosec.\,\theta}$$

En égalant les valeurs des angles intérieur et extérieur, nous avons :

$$\frac{cosec.\,\theta\, cos.\,\tau}{\frac{1}{2}\pi} = \frac{\left(\frac{cot.^2\,\theta}{\frac{1}{2}\pi}(r+c)\right) + r\, sin.\,\tau}{r\, cos.\,\tau\, cosec.\,\theta};$$

d'où nous tirons :

$$sin.\,\tau = \sqrt{\left(1 - \frac{r+e}{r}\, cos.^2\,\theta\right) + \left(\frac{\pi}{4}\, sin.^2\,\theta\right)^2} - \frac{\pi}{4}\, sin.^2\,\theta. \quad (1)$$

La valeur de $sin.\ \tau$, telle qu'elle est donnée par cette expression, diminue évidemment en même temps que l'angle θ, par conséquent plus l'obliquité du pont sera grande, plus le point où la poussée de la voûte est parallèle au plan de tête se rapprochera du niveau de l'axe du cylindre.

Si, dans cette équation, nous faisons $sin.\ \tau = 0$, nous obtiendrons les conditions qui doivent être satisfaites, pour que la poussée soit parallèle au plan de tête, au niveau de l'axe; cela arrivera,

$$\text{quand } sec.\ \theta = \frac{\sqrt{r+e}}{r} \ldots \quad (2)$$

$$\text{ou quand } e = r\,(sec.^2\ \theta - 1). \quad (3)$$

On doit remarquer maintenant, que la ligne A C, fig. 27, représente $sec.\ \theta$ rapportée au rayon A B, et doit, par conséquent être égale à $\frac{\sqrt{r+c}}{r}$ pour que B C puisse être horizontale, et il est évident que plus on prendra θ petit, plus on s'en approchera.

Cherchons maintenant une expression de la distance A D, le point D se trouvant sur l'horizontale DB, fig. 27, quand le point C′ est plus haut que le point B. Prenons A D, fig. 28, égal à A D, fig. 27, et élevons la perpendiculaire DD′, alors D D′, fig. 28, devra être égale à B B′, fig. 27.

Soit la distance A D $= x$.

$$\text{alors } D\,D' = \frac{x\ cot.\ \theta}{\frac{1}{2}\pi}$$

$$\text{mais } BB' = \frac{cot.^2\ \theta\ sin.\ \theta}{\frac{1}{2}\pi} \cdot \frac{r+e}{r}$$

égalant la quantité, nous avons

$$\frac{x\ cot.\ \theta}{\frac{1}{2}\pi} = \frac{cot.^2\ \theta\ sin.\ \theta}{\frac{1}{2}\pi} \cdot \frac{r+e}{r}$$

d'où nous tirons

$$x = cos.\ \theta\ \frac{r+e}{r} \quad (4)$$

Remarquons ici que si x était égal à $cos.\ \theta$ seulement, la ligne B D, fig. 27, serait perpendiculaire à AC, et les vous-

soirs tendraient à glisser parallèlement à A C, et par suite n'exerceraient aucune poussée vers le centre du cylindre; mais comme la valeur de $\frac{r+e}{r}$ est toujours plus grande que l'unité, l'angle A D B sera toujours plus petit qu'un angle droit.

Après avoir analysé le sujet, nous allons calculer la valeur de τ pour différents angles; pour y parvenir, il est nécessaire d'attribuer quelques valeurs particulières à $\frac{r+e}{r}$ dans l'équation (1).

Dans ce qui suit nous avons pris l'épaisseur e égale au vingtième de l'ouverture oblique, elle est donc égale à

$$\frac{2\,r\ cosec.\ \theta}{20} = \frac{r}{10}\ cosec.\ \theta,$$

ou bien, prenant le rayon pour unité, elle est simplement

$$\frac{cosec.\ \theta}{10}.$$

Nous servant de cette valeur de e dans chaque cas, nous avons :

Quand $\theta = 65°$	$\tau = 27°\ 17'$
$\theta = 55°$	$\tau = 25°\ 13'$
$\theta = 45°$	$\tau = 21°\ 47'$
$\theta = 35°$	$\tau = 15°\ 38'$
$\theta = 25°, 40'$	$\tau = 0,\ 00.$

Nous ferons observer que le dernier angle donné est celui pour lequel le point θ descend au niveau do l'axe du cylindre, et tout le demi-cercle se trouve en équilibre stable.

Cette valeur de θ est obtenue ainsi qu'il suit : par l'équation (3) $e = r\ (sec.^2\ \theta - 1)$ ou simplement $(sec.^2\ \theta - 1)$, en prenant le rayon pour unité : et, dans les calculs précédents, nous avons pris $e = \frac{cosec.\ \theta}{10}$, égalant les valeurs, nous avons :

$$\frac{cosec.\ \theta}{10} = sec.^2\ \theta - 1 \quad (5).$$

Si nous exprimons la sécante et la cosécante en fonction

de la tangente et du rayon, et si nous substituons leur valeur ainsi exprimée dans l'équation (5), nous avons :

$$\frac{\sqrt{(1 + tang.^2 \theta)}}{10\ tang.\ \theta} = tang.^2 \theta \quad (6)$$

que l'on peut réduire à

$$tang.^3 \theta - 0.1\ tang.^2 \theta - 0.01 = o \quad (7),$$

d'où l'on tire $tang.\ \theta = 0.48031\ tang.\ 25^o\ 40'$.

Il est évident que θ variera en même temps que *e*, et si l'on avait pris $e = \frac{cosec.\ \theta}{11}$ l'angle θ aurait été égal à très-peu près à 25°.

Telle est la sécante naturelle de l'obliquité que l'on peut donner théoriquement à une voûte dont la section droite est un demi-cercle et dont, en outre, l'angle des joints continus est une fonction de θ égale à celle qui lui a été assignée d'après les principes du chapitre II.

Il est à remarquer que jusqu'à présent le plus grand nombre des ingénieurs ont regardé l'angle de 45 degrés comme la plus grande obliquité que l'on pouvait adopter dans la construction des voûtes obliques, il est probable que cette opinion s'est établie par suite de la difficulté qu'ils ont trouvée dans la pratique à établir des arches sous cet angle d'obliquité, et ils en ont conclu que puisque les difficultés augmentaient de 90 à 45 degrés, elles devaient continuer à croître pour des angles encore plus petits, tandis qu'il arrive précisément le contraire, ainsi que cela résulte des recherches précédentes.

Quand nous disons qu'il arrive précisément le contraire, c'est dans la supposition que les joints des voussoirs peuvent concourir au point que nous avons appelé foyer; mais il est à remarquer que tous les praticiens tâchent d'éviter le concours des joints et taillent les lits des voussoirs de tête de la voûte de manière qu'ils soient à angle droit sur la tangente à une courbe en ce point, suivant la coutume adoptée par les ingénieurs et les architectes de tous les pays. Cette manière de disposer les joints est donnée par Nicholson dans son ouvrage sur la taille des pierres; mais en l'adoptant on augmente la difficulté du travail et on altère la stabilité de la construction, ce qui est une raison décisive pour la faire abandonner.

Quand les joints résultent de la section de la surface spirale par un plan oblique, et que la voûte a pour section

droite un demi-cercle et par suite une demi-ellipse pour section oblique, l'arche est comparable à un segment de cercle, et les joints continus sont à peu près à angle droit sur la ligne de plus grande pression. Une voûte ainsi appareillée ressemble beaucoup à celle donnée dans l'excellent ouvrage de M. Seaward, sur la reconstruction du pont de Londres, où il démontre d'une manière satisfaisante que la manière habituelle d'appareiller une ellipse n'est pas bien raisonnée et devient une cause d'instabilité.

Il est à remarquer que la stabilité de la partie inférieure de la voûte oblique dépend de la valeur relative des angles intérieur et extérieur; et que le premier varie comme $cot.\ \theta$, et le dernier comme $cot.^2\ \theta\ sin.\ \theta$; mais $cot._2\ \theta\ sin.\ \theta = cot.\ \theta$ $cos.\ \theta$, donc les angles varient comme le rapport de $\frac{1}{cos.\ \theta}$ qui s'approchent d'autant plus de l'égalité que θ diminue davantage.

De plus $cot.\ \theta$ étant plus grand que $cot.^2\ \theta$ quand θ est plus grand que 45 degrés et l'inverse quand $\theta < 45°$; et parce que quand $\theta = 45°$ l'angle intérieur est égal à 32° 29', ce qui est approximativement la valeur de l'angle d'assise des voussoirs, nous en concluons que l'obliquité de 45 degrés est celle qui présente le moins de sécurité pour une arche *demi-circulaire*.

Dans le viaduc du chemin de fer de Londres à Birmingham, à la traversée de la route de Watford, l'arche est demi-circulaire et oblique à 55 degrés. L'angle $\theta = 24°$ 52 et correspond à la hauteur du septième voussoir, à partir de la naissance au-dessus de ce niveau, la voûte est consolidée par des armatures en fer placées dans la maçonnerie sur l'extrados. Nous n'avions point alors établi la formule qui donne la valeur de θ, mais l'on obtint par l'expérience en laissant descendre librement une petite sphère sur le lit de chaque voussoir, à partir du plus bas, jusqu'à ce que la ligne ainsi parcourue fût parallèle au plan de tête de l'arche, ou à B A, fig. 27; cette expérience fut faite sur un modèle de la voûte.

Il est nécessaire de se rappeler que si dans la construction d'une arche on supprime, ainsi que cela devrait être, la partie au-dessous de τ, alors l'angle intérieur doit avoir la valeur trouvée pour le demi-cercle et ne point être déterminée par la formule relative au segment, déterminée dans le chapitre II.

Dans l'équation (1) la valeur de τ résulte de celle de l'angle hélicoïdal de l'intrados, ainsi que nous l'avons déterminé

pour une voûte dont la section droite est semi-circulaire, ou quand la tangente de cet angle $= \frac{cot.\ \theta}{\frac{1}{2}\pi}$; mais la tangente de cet angle dans l'arche segmentale est égale à $\frac{c}{a}\ cot.\ \theta$; si nous substituons cette dernière à la première, nous obtenons, en suivant la même marche que précédemment, l'équation suivante :

$$\frac{c}{a}\ cosec.\ \theta\ cos.\ \tau = \frac{\frac{c}{a}\ (r+e)\ cot.^2\ \theta + r\ sin.\ \tau}{r\ cos.\ \tau\ cosec.\ \theta}$$

d'où l'on tire :

$$sin.\ \tau = \sqrt{\left\{\left(1 - \frac{r+e}{r} cos.^2 \theta\right) + \left(\frac{a}{2c}\ sin.^2\ \theta\right)^2\right\}} - \frac{a}{2c}\ sin.^2\ \theta \quad (8)$$

Il est à observer que la seule différence entre cette dernière équation et celle n° (1) est dans le coëfficient de $sin.^2\ \theta$, qui est $\frac{a}{2c}$ au lieu de $\frac{\pi}{4}$, mais quand le segment devient égal au demi-cercle $\frac{a}{2c} = \frac{\pi}{4}$. Cette dernière équation est donc générale et applicable au demi-cercle et au segment.

Quelques personnes peuvent être portées à croire que l'on peut se dispenser de cette exactitude, parce que le plus souvent on construit, les ponts surtout, sans aucune notion de la théorie. Cela s'explique si l'on remarque que les projets des constructions qui restent debout ont été copiés, tandis que ceux qui tombent ne l'ont pas été. De plus on sait qu'il est difficile de construire un pont de petites dimensions qui ne puisse résister. Mais pour les dimensions et des proportions inusitées, il est essentiel de procéder d'après les principes de la science pour être sûr du succès.

Il est dit dans le premier volume des Transactions de l'institution des ingénieurs civils, que le chevalier Mosca n'osait point se risquer à construire un pont oblique de 49 mètres d'ouverture, bien qu'il sût que l'on en avait construit de plus petits. Nous n'hésitons point à avancer qu'il est très-

praticable et même parfaitement sûr de construire des arches obliques de toutes dimensions, il n'y a pas d'autres limites que celles applicables aux voûtes droites, c'est-à-dire la résistance des matériaux.

Dans tout cet ouvrage nous n'avons traité que des voûtes obliques à section droite demi-circulaire, parce que notre opinion est que l'on ne doit en construire que de cette espèce.

Nous n'ignorons pas qu'il existe des arches obliques à section droite elliptique, mais nous les regardons comme manquant de stabilité, elles sont d'ailleurs plus difficiles à exécuter, et conséquemment plus dispendieuses, surtout en maçonnerie. Et après avoir approfondi ce sujet autant que nous en sommes capables, nous pensons qu'elles ne comportent point de formules simples, telles que celles que nous avons établies pour les voûtes obliques à section droite demi-circulaire. Nous ne pensons pas qu'il puisse jamais se présenter un concours de circonstances susceptibles de forcer l'ingénieur à construire une voûte elliptique, et par ces motifs nous les rejetons entièrement; cependant nous verrions avec plaisir que quelqu'un approfondit ce sujet et nous fit voir notre erreur, si en effet nous en faisons une.

Addition.

Bien qu'elle n'ait pas un rapport direct avec le sujet qui vient d'être traité, l'auteur pense qu'il ne sera pas tout-à-fait inutile de donner la table suivante des équivalents trigonométriques, qu'il a construite pour son usage particulier, dans l'étude de divers sujets intéressant les ingénieurs. Elle est d'une forme nouvelle et elle pourra être d'un grand usage dans les calculs où l'on se sert de lignes trigonométriques.

Les quotients et les produits des lignes indiquées dans la première colonne verticale et dans la première ligne horizontale se trouvent à la rencontre de ces lignes.

ÉQUIVALENTS TRIGONOMÉTRIQUES.

	DIVISÉ PAR						MULTIPLIÉ PAR					
	SIN.	COSEC.	TANG.	COT.	SEC.	COS.	SIN.	COSEC.	TANG.	COT.	SEC.	COS.
sin.	1	sin.^{2}	cos.	sin. tang.	sin. cos.	tang.	sin^2	rayon	sin./cot.	cos.	tang.	sin./sec.
cosec.	cosec.^{2}	1	cosec. cot.	sec.	cot.	cosec. sec.	rayon	cosec.^{2}	sec.	cosec./tang.	cosec./cos.	cot.
tang.	sec.	tang. sin.	1	tang.^{2}	sin.	tang. sec.	sin./cot.	sec.	tang.^{2}	rayon	tang./cos.	sin.
cot.	cosec./tang.	cos.	cot.^{2}	1	cos./tang.	cosec.	cos.	cosec./tang.	ray	cot.^{2}	cosec.	cot./sec.
sec.	sec. cosec. cosec./cos.	tang.	cosec.	sec. tang.	1	sec.^{2}	tang.	cosec./cos.	tang/cos.	cosec.	sec.^{2}	rayon
cos.	cot.	sin./cosec. sin. cos.	cot./sec.	sin.	cos.^{2}	1	sin./sec.	cot.	sin.	cot./sec.	rayon	cos.^{2}
1	cosec.	sin.	cot.	tang.	cos.	sec.						

TABLE DES MATIÈRES.

PREMIÈRE SECTION.

CHAPITRE Ier.

CHAPITRE II.

DES BOIS EN GÉNÉRAL, FONTE, FER, ACIER.

CHAPITRE III.

CHAPITRE IV.

CHAPITRE V.

CHAPITRE VI.

CHAPITRE VII.

CHAPITRE VIII.

DES FONDATIONS ET DES TRAVAUX ACCESSOIRES.

CHAPITRE IX.

PROJET D'UN PONTCEAU DE TROIS MÈTRES D'OUVERTURE.

CHAPITRE X.

CHAPITRE XI.

CHAPITRE XII.

CHAPITRE XIII.

ESSAI THÉORIQUE ET PRATIQUE

SUR LA CONSTRUCTION DES PONTS OBLIQUES.

CHAPITRE Ier.

CHAPITRE II.

CHAPITRE III.

CHAPITRE IV.

CHAPITRE V.

CHAPITRE VI.

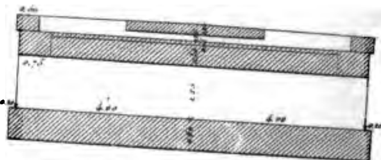
CHAPITRE VII.

FIN DE LA TABLE DES MATIÈRES.

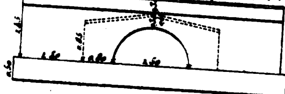
BAR-SUR-SEINE — IMP. SAILLARD

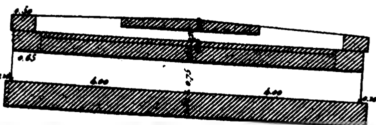
Pl. 1.ère

ducs etc. Ponts et Chaussées. Tome

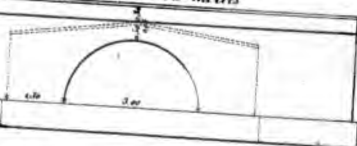


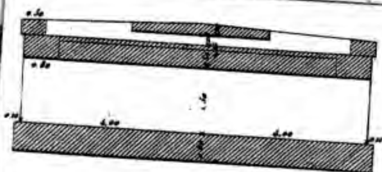
Ponceau d'un mètre cinquante C.es





Ponceau de trois mètres





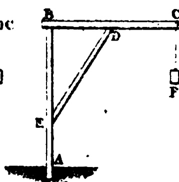
10

Guiguet Sculp

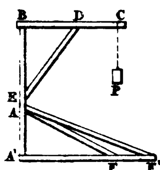
4

3a

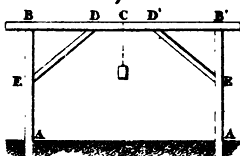
38.



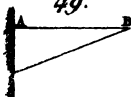
39.



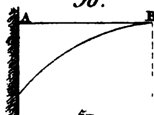
41.



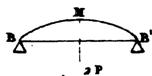
49.



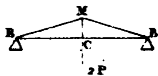
50.



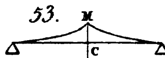
51.



52.



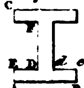
53.



42.



43.



47.



54.

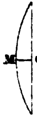


Fig. 9.



Fig. 13.

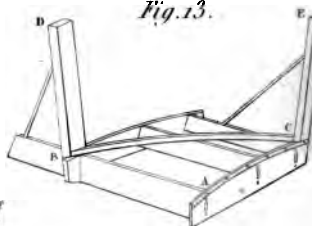


Fig. 14.

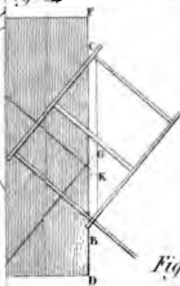


Fig. 15.



Fig. 16.

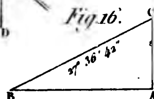


Fig. 28.

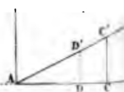
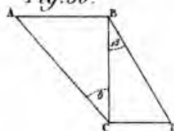
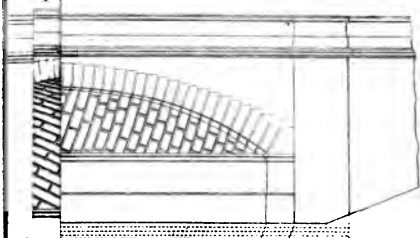


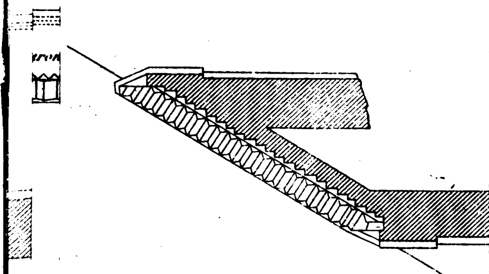
Fig. 29.

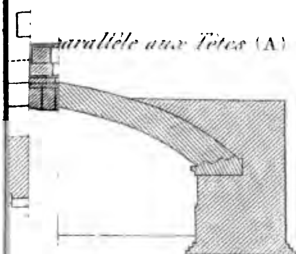
Fig. 30.



Guiguet

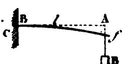




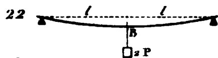


Guiguet, Sculp.

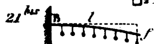
Fig. 21.



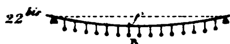
22



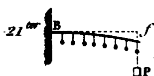
21 bis



22 bis



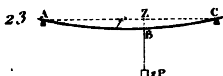
21 ter



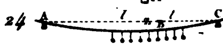
22 ter



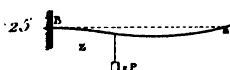
23

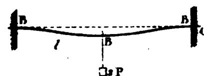


24



25





25 bis

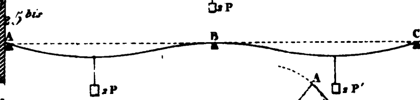
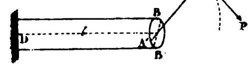


Fig. 27.



Guiguet Sculp